

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Komplexní prediktivní a proaktivní údržba na strojích nové
výrobní linky

A Complex Predictive and Proactive Maintenance on the
Machines of a New Production Line

Student: Antonín Brušík

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Antonín Brušík**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Komplexní prediktivní a proaktivní údržba na strojích nové výrobní linky**
A Complex Predicative and Proactive Maintenance on the Machines of a New Production Line

Zásady pro vypracování:

V návaznosti na zadané téma zpracujte v aplikaci na Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod metodiku zavedení systému údržby a proved'te diagnostická měření. V rámci zadání zpracujte a proved'te:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
 2. Ideový a technický návrh řešení včetně metodického postupu implementace.
 3. Aplikaci na konkrétní podmínky dané výrobní společností a nové výrobní linky.
 4. Referenční diagnostická měření včetně jejich analýzy.
 5. Vyhodnocení přínosů ve srovnání se stávajícím řešením u starších výrobních linek.
- Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracovávání bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
- KREIDL, M. a kol. *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
- HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 130s., ISBN 978-80-248-1690-6
- LEGÁT, V. a kol. *Management a inženýrství údržby*. Professional Publishing 2013, První vydání, 570 s., ISBN 978-80-7431-119-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

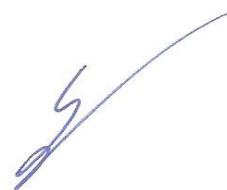
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19. 5. 2014



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo, bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Antonín Brušík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Strání 141, 687 65

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BRUŠTÍK, A. *Komplexní prediktivní a proaktivní údržba na strojích nové výrobní linky: bakalářská práce*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 49 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Helebrant, F., CSc.

Účelem bakalářské práce je komplexní prediktivní a proaktivní údržba strojů Doosan DNM 500, především kontrola technického stavu vřetenových ložisek pomocí vibrodiagnostického měření, ve společnosti Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod. V úvodu uvádím informace o systémech, řízení a plánování údržby v podniku. Další kapitola obsahuje technickou diagnostiku strojů, metody technické diagnostiky a nejnovější trendy. Dále se seznámíme se stroji Doosan DNM 500, zejména s vřeteny a s jejich měřením. Vyhodnocení a analýza naměřených hodnot budou shrnuty v další části a v závěru bude popsán a porovnán nový technický návrh řešení se stávajícím.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BRUŠTÍK, A. *A Complex Predicative and Proactive Maintenance on the Machines of a New Production Line: Bachelor Thesis*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VSB – Technical University of Ostrava, 2014, 49 p. Thesis head: doc. Ing. Helebrant, F., CSc.

The main purpose of this bachelor thesis is complex predictive and proactive maintenance of machines Doosan DNM 500, especially a control of technical condition of spindle bearings by vibrodiagnostic measurement, in company Česká Zbrojovka a.s. Uherský Brod. In the introduction I have mentioned information about systems, management, and planning of maintenance in the company. The next chapter contains technical diagnostics of machines, methods of technical diagnostics and the latest trends. Furthermore, I introduce the machines Doosan DNM 500, especially the spindles and its measurement. The evaluation and analysis of measured values are summarized in the next part of the thesis and finally I have described and compared a new technical design of solution to the current one.

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Úvod	9
1 Teorie systémů údržby	10
1.1 Strategie údržby	10
1.1.1 Preventivní údržba podle stavu tzv. prediktivní údržba	11
1.1.2 Preventivní údržba s předem stanovenými intervaly	11
1.1.3 Údržba po poruše	11
1.2 Řízení údržby v podniku	12
1.3 Vstupní údaje pro plánování a řízení údržby	12
1.4 Metody plánování údržby	13
1.4.1 Kritičnosti strojů a zařízení	13
1.4.2 Roční plán údržby	14
1.4.3 Financování údržby	14
1.5 Metody řešení údržby	15
1.5.1 Operativní plán údržby	16
1.6 Plánování a řízení odstávek	16
1.6.1 Cyklus odstávky	17
1.7 Technické zdroje a jejich zařízení	17
1.7.1 Nářadí a přístroje	17
1.8 Trvalé zlepšování údržby	18
2 Profil společnosti Česká zbrojovka, a.s. Uh. Brod	19
3 Technická diagnostika strojů Doosan DNM 500	20
3.1 Technická diagnostika obecně	20
3.1.1 Vznik a historie technické diagnostiky	20
3.1.2 Diagnostické signály	21
3.1.3 Diagnostické metody	22
3.1.4 Trendy v technické diagnostice	23
3.2 Vibrodiagnostika	24
3.2.1 Základní pojmy	24
3.2.2 Snímače kmitání	25
3.2.3 Akcelerometry	26
3.2.4 Uchycení snímačů	27
3.2.5 Vyhodnocování měření	28
3.2.6 Časový průběh	28

3.2.7	Frekvenční průběh	29
3.2.8	Rozbor závad rotačního systému	29
4	Technické parametry stroje Doosan DNM 500	31
4.1	Hlavní části stroje.....	31
4.1.1	Vřeteník	33
4.2	Vřeteno.....	33
4.2.1	Charakteristika vřetenových ložisek.....	35
5	Vibrodiagnostické měření vřetenových ložisek.....	36
5.1	Měřicí přístroj Adash A4400 – VA4Pro	36
5.2	Výběr místa měření.....	37
5.3	Postup měření.....	37
5.4	Aplikace A4410 Virtual Unit.....	37
5.5	Vyhodnocení měření	38
5.6	Návrh nového systému měření.....	46
6	Závěr	47
7	Seznam použité literatury.....	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BPFI	Frekvence rázů vnitřního kroužku ložiska	[Hz]
BPFO	Frekvence rázů vnějšího kroužku ložiska	[Hz]
BSF	Frekvence rázů valivých elementů	[Hz]
CNC	Computer Numeri Control (počítačově řízené centrum)	
CZUB	Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod	
ČSN	Česká státní norma	
DB	Back-to-back (uložení ložisek zády k sobě)	
FTF	Frekvence rázů klece ložiska	[Hz]
ISO	Mezinárodní norma	
RMS	Efektivní hodnota vibrací	
SW	Software (počítačový program)	
T	Doba trvání jednoho kmitu - perioda	[s]
USB	Univerzální sériová sběrnice	
a_{RMS}	Efektivní hodnota zrychlení	[g]
f	Frekvence	[Hz]
n	počet otáček	$[min^{-1}]$
v_{ef}	Efektivní hodnota rychlosti	[mm/s]
v_{RMS}	Efektivní hodnota rychlosti	[mm/s]
x_{ef}	Efektivní hodnota	
x_r	Rozkmit	
x_s	Střední hodnota	
x_v	Výkmit	

Úvod

Stoupající nároky na životnost, spolehlivost a bezpečnost provozu strojů při jejich neustálém zdokonalování a současný trend snižování ekonomických nákladů na údržbu, můžeme dosáhnout pouze s využitím diagnostických systémů. Úkolem technické diagnostiky není pouze zjišťovat vzniklou poruchu, ale hlavně vznikající poruše předcházet. Technickou diagnostikou se zpravidla rozumí diagnostika bezdemontážní a nedestruktivní. Věrohodnost je daná nejen optimální volbou moderních integrovaných senzorů, ale i jejich umístěním a hlavně zpracování naměřených signálů. V rámci prevence musíme zařízení pravidelně zkontrolovat.

Zaměřili jsme se na měření vibrací vřeten obráběcích center na výrobu ráků a závěrů pistolí. Vřetena patří ke klíčovým komponentům obráběcích strojů. Jedním ze základních požadavků vřeten je přesnost. Geometricky přesnou rotaci nástroje kolem osy rotace ovlivňuje mimo jiné přesnost jednotlivých dílů. Jsou to ložiska, rotor a díly tubusu. Nepřesnost, opotřebení nebo nesprávná údržba těchto součástí může vést ke zvýšení vibrací. Vibrace jsou úzce vázány s dynamickým namáháním stroje a technickým stavem strojních dílů. Jejich působením se zvyšuje riziko poruchy, nebo zhoršuje technický stav zařízení. Proto je důležité toto nežádoucí chvění monitorovat. Nejčastěji používanou metodou měření vibrací je tzv. vibrační diagnostika (vibrodiagnostika). Správně provedená vibrodiagnostika dokáže určit poruchu, její původ a včasné upozornit na vznikající problémy. Měření vřeten bylo provedeno vibračním analyzátozem A4400 – VA4 Pro firmy Adash.

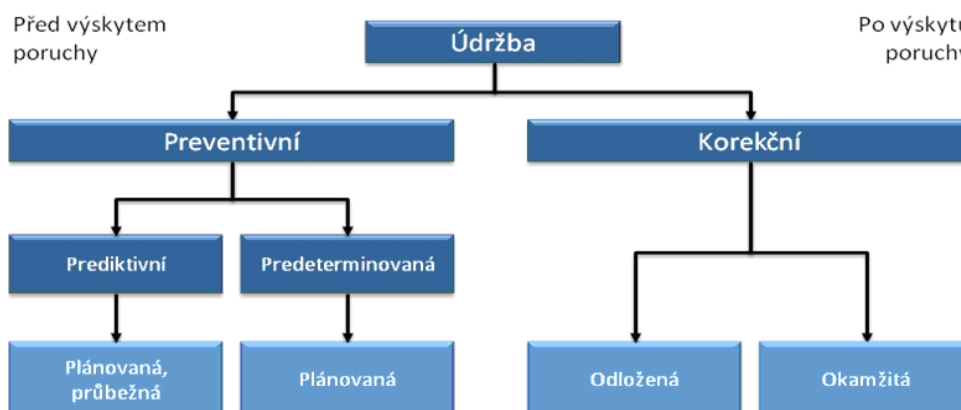
1 TEORIE SYSTÉMŮ ÚDRŽBY

Údržba je nedílnou součástí každého výrobního podniku a můžeme ji definovat *jako kombinaci všech technických a manažerských opatření během životního cyklu objektu, zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci* (ČSN EN 13306:2011). Musíme však zohlednit požadavky na kvalitu, bezpečnost, náklady a environment. Údržba se většinou považuje jako celek, který má za úkol uchovávat zařízení v takovém stavu, že musí být schopno plnit svou bezpečnostní a ekonomickou funkci, rychle reagovat na poruchy a dodržovat plán údržby. Velký důraz je kladen na dobrou organizaci práce při odstraňování problémů. [2]

1.1 Strategie údržby

Každá organizace a každá její jednotka mají svůj účel, ke kterému byly vytvořeny. Organizace si volí strategii, díky které se snaží dosáhnout požadovaného cíle a zároveň naplňovat svoje účely. Strategii volíme takovým způsobem, aby trvale splňovala své přijaté hodnoty. Strategie údržby je tedy „metoda managementu, použitá na dosažení cílů údržby“.

V údržbě se pojem strategie chápe jako koncept údržby, který rozhoduje, zda na určitém zařízení aplikovat preventivní údržbu podle aktuálního stavu, nebo předem určenými intervaly či údržbu po poruše. [2]



Obr. 1 Přehled typů údržby [8]

1.1.1 Preventivní údržba podle stavu tzv. prediktivní údržba

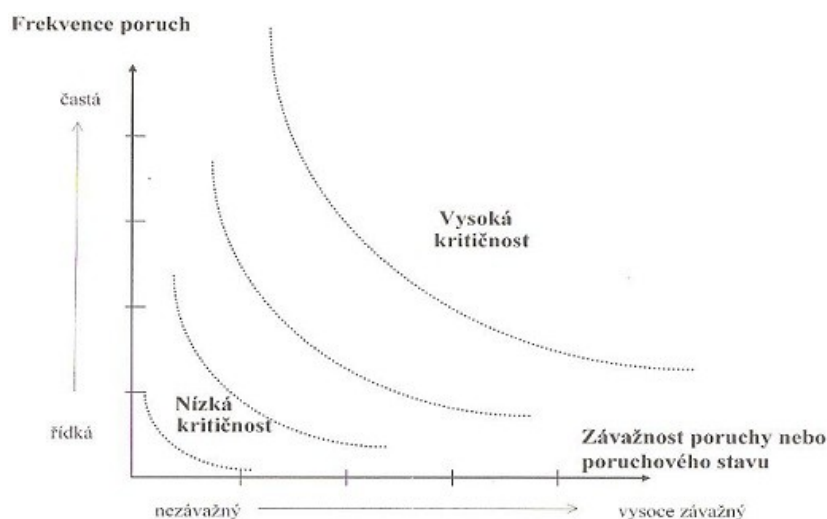
Úkolem je optimální vyhodnocení získaných informací, určení budoucího stavu objektu a zajistit, aby se předešlo nepříznivému stavu. Této predikci napomáhají různé metody sledování stavu objektů, stále se zdokonalující přístroje a vyvinuté postupy vyhodnocování získaných informací. [2]

1.1.2 Preventivní údržba s předem stanovenými intervaly

Má za úkol v daném termínu, nebo po určité době užívání provést kontrolu, prohlídku nebo předepsanou činnost. Není snadné určit frekvenci preventivních opatření bez přesných informací, založených na statistickém pozorování. Periodická frekvence preventivních opatření se většinou určuje odhadem. Může se stát, že po provedení preventivní údržby vznikne porucha a naopak se může ukázat preventivní činnost jako zbytečná. [2]

1.1.3 Údržba po poruše

Nejstarší typ údržby. Využívá celou životnost objektu. Nevýhodou tohoto typu údržby jsou neplánované odstávky, zvyšuje nadbytečné náklady a je třeba zajistit vyšší zásobu náhradních dílů. [2]



Obr. 2 Graf kritičnosti [2]

1.2 Řízení údržby v podniku

Týká se údržby plánované tzv. preventivní, neplánované tzv. po poruše a také specializovaných opraven s linkovým charakterem oprav. Diagnostická prediktivní údržba – samotný proces vychází z programů opakující se preventivní údržby a z diagnostických výsledků. Řízení údržby po poruše – díky její nepravidelnosti je proces náročnější a je charakterizovaný polohou poruchy, opravou a výstupní kontrolou, která ověří, zda je zařízení schopno plnit svou funkci po provedené údržbě po závadě.

Náplň preventivní údržby:

- a) **revizní prohlídky** – jsou dány zákonem, předpisy a bezpečnostními normami a jsou charakterizované opakujícími se časovými intervaly (měsíčně, ročně),
- b) **zaběhlá preventivní periodická údržba** – patří sem tyto činnosti: seřizování, mazání, plánované opravy, čištění apod., tyto úkony se uvádí buď v pracovním provozu (hodiny skutečné činnosti, množství produkce) nebo v kalendářním čase (denně, týdně, měsíčně, ročně),
- c) **preventivní diagnostická údržba** – pracuje na základě diagnostických měření nebo na neustálém monitorování technického stavu objektu; diagnostické prohlídky mají opakující se charakter, pokud se nejedná o neustálé monitorování, tak je časový interval uváděn v kalendářním čase (denně, týdně, měsíčně, ročně), nebo v pracovní době (hodiny skutečné činnosti, množství produkce). [2]

1.3 Vstupní údaje pro plánování a řízení údržby

Pro správné řízení a plánování údržby musíme mít k dispozici vstupní nebo vypočítávané údaje. Mezi tyto údaje patří:

1. Pracnost údržbářských zásahů
2. Časový fond
3. Požadovaný objem údržbářské činnosti
4. Kapacita údržbářského podniku
5. Průběžná doba údržby
6. Šetrnost oprav [2]

1.4 Metody plánování údržby

Plán údržby je sestavován z uvedených podkladů většinou na jeden rok. Sestavuje se pro jednotlivé provozy, udržované objekty a obsahuje plánované úkoly, finanční objemy, doby průběhu a pracnosti. Dobře sestavený plán údržby umožňuje celopodnikové plánování nejen finančních zdrojů.

Plánování údržby – jde vlastně o vytvoření zásobníku práce s plánovanými termíny jejich dokončení.

Rozvrhování údržby – podle vypracovaného plánu údržby se přiřazují přesné termíny, pracovníci a další zdroje (finance, materiál, nástroje, náhradní díly, přístroje a další).

Plán údržby – definován jako strukturovaný soubor úkolů, do něhož se zahrnují činnosti, postupy, zdroje a časové plánování, nutné k provádění údržby. [2]

Pokud má být údržba účinně plánovaná a řízená, je důležité zřídit do jejího útvaru funkci plánovače údržby, který pracuje s podporou Microsoft Office, zvláště s tabulkami Excelu, nebo se speciálním SW, který přímo podporuje plánování a řízení údržby.

1.4.1 Kritičnosti strojů a zařízení

Znalost kritičnosti strojů a zařízení je nutná pro řízení údržby po poruše ale i celkově pro správné plánování preventivní údržby. Nutnou podmínkou pro zhotovení kategorizace strojů je analýza, která se zaměřuje na prostoje a jejich dopad na výrobní ztráty. Kategorizace strojů by měla být týmovou prací. Výstupem analýzy by mělo být rozdělení strojů do tří skupin podle jejich kritičnosti a obvykle se tyto skupiny označují A – úzkoprofilové, B – běžné a C – pomocné. [2]

Tab. 1 Kvalitativní kritéria kategorizace strojů a zařízení do skupin [2]

Skupina kritičnosti strojů a zařízení	Kvalitativní kritéria výběru
A - úzkoprofilové	technologická nezaměnitelnost a nenahraditelnost vysoká pracovní přesnost vysoká složitost (více než 8 montážních skupin) vysoké časové využití stroje vyšší stupeň automatizace, robotizace stroje a zařízení v linkách nebo čtyřsměnný provoz stroje ovlivňující bezpečnost práce stroje s vysokými pořizovacími náklady stroje nové nebo s předpokládaným využitím 5 roků
B - běžné	stroje technologicky a výrobně zaměnitelné a nahraditelné střední složitost (4 až 8 montážních skupin) stroje mechanizované a s nižšími stupni automatizace průměrné využití 1 až 2 směny stroje vyskytující se ve větších počtech
C - pomocné	technicky jednoduché stroje stroje využívané méně než 1 směnu a nepravidelně stroje v pomocných provozech

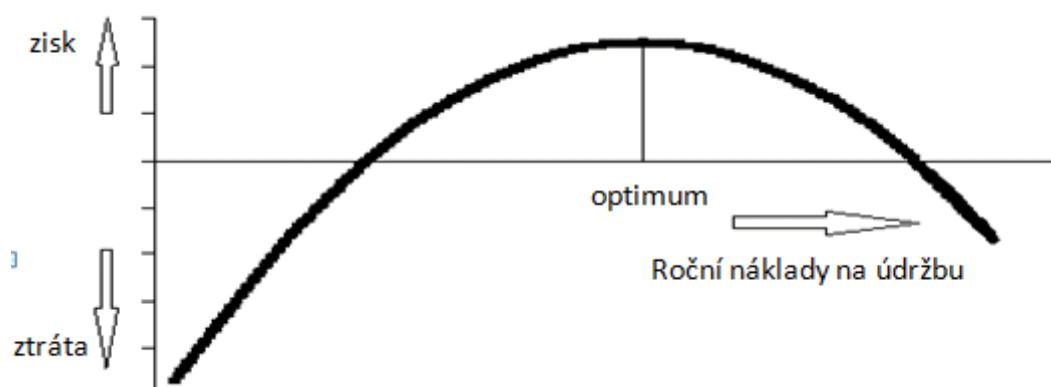
1.4.2 Roční plán údržby

Má statistický charakter a obsahuje tyto informace:

- Plánované termíny preventivní údržby
- Seznam údržbářských úkonů
- Plánovaný objem pracností
- Plánovaný objem finančních prostředků [2]

1.4.3 Financování údržby

Financování údržby můžeme chápat jako kolísání mezi ztrátami na jedné straně a celkovými zdroji na údržbu na druhé straně. Ztrátami rozumíme např. prostoje vyvolané preventivní údržbou nebo údržbou po poruše, seřizováním či přestavováním stroje, ale také další vyvolané ztráty např. snížení bezpečnosti a ochrany zdraví, ohrožení životního prostředí, ztráta dobré pověsti, ušlý zisk atd. [2]



Obr. 3 Závislost hrubého zisku na intenzitě financování údržby [2]

Roční finanční zdroje musejí kopírovat roční věcný plán preventivní údržby a statistický odhad nákladů na roční údržbu po poruše, případně dalších prací s údržbou souvisejících, jako určité procento nákladů na preventivní údržbu.

Interní údržba musí z finančních zdrojů pokrýt náklady na manažera údržby, mistry, techniky a údržbáře. Externí údržba pokrývá veškeré faktury externě provedené práce a dodávky. [2]

1.5 Metody řešení údržby

Při postupu rozhodování údržby zvažujeme, kdy údržbu provedeme, kdo údržbu provede, jaký bude technologický postup, jaké náhradní díly použijeme a jaké nářadí bude použito. Rozhodování je dynamický proces a vychází z ročního plánu. Výsledkem jsou denní až týdenní plány údržby s pracovními příkazy pro pracovníky, termíny provedení a dalšími zdroji např. pravidla bezpečnosti a ochrany zdraví. Důležité je vyhodnocení a zpětná vazba o splnění termínů údržbářských úkonů.

Rozhodování údržby je proces, v němž se na základě vypracovaného plánu údržby přiřazují upřesněné prováděcí termíny, pracovníci a ostatní zdroje (uvolňují se plánované finance, náhradní díly, materiál, přístroje, nástroje a další nutné údržbářské zařízení). [2]

Výstupem rozvrhování údržby je harmonogram. V rámci jeho přípravy je nutné doplnit tyto informace:

- hierarchickou strukturu jednotlivých prací podle konkrétních profesí,
- přiřazení jednotlivých pracovních zdrojů a klíčových nástrojů,
- přený časový plán jednotlivých aktivit,
- důležité milníky např. termíny odstavení z provozu,
- požadované standardy, postupy práce, protokoly z měření,
- výkazy odpracovaných hodin.

Na počátku rozvrhování údržbářských úkonů se nahromadí veškeré prioritní požadavky každé údržbářské profese. Získáme hrubou představu, jaké vytížení mají jednotlivé údržbářské skupiny. Získáme také představu o vytíženosti směn. Díky tomu můžeme málo vytíženým směnám zajistit náhradní práci a naopak přetíženým směnám práci lépe rozložit. [2]

1.5.1 Operativní plán údržby

Navazuje na roční plán údržby. *Základem operativního plánování a řízení údržby je soustava operativních měsíčních a následně týdenních operativních plánů údržby*, které rozdělí denní rozvrhy úkolů. Operativní plán je základním nástrojem pro efektivně řízenou údržbu. [2]

Výhodou zdárného zavedení metody rozvrhování a plánování jsou:

- Větší efektivita práce
- Snížení počtu zaměstnanců a tím i nákladů
- Kratší doba provedení
- Užší spolupráce mezi jednotlivými disciplínami údržby

1.6 Plánování a řízení odstávek

Je to soubor úkolů, které požadují vysokou kvalitu práce. Klíčové faktory, které ovlivňují efektivitu odstávek mohou být: strategie investic, termínová přesnost, přesnost a spolehlivost dodávek, optimalizace skladových zásob, náhradních dílů a materiálu, poměr vlastní a outsourcované údržby a mnohé další. [2]

1.6.1 Cyklus odstávky

Skládá se ze čtyř procesů:

- Příprava odstávky
- Sestavení plánu odstávky
- Realizace odstávky
- Vyhodnocení odstávky [2]

1.7 Technické zdroje a jejich zařízení

Technická dokumentace, která obsahuje všechna výrobní zařízení (stroje a techniku, inženýrské sítě, atd.) slouží manažerovi údržby ke správnému řízení majetku. Je důležité sjednotit pohled na technickou dokumentaci, aby byla péče o spravovaný majetek systémová. Na základě sjednoceného systému vedení dokumentace můžeme stanovit potřeby na měřicí přístroje, diagnostické zařízení, dílenské nářadí. Efektivnost technické dokumentace nejlépe vyhodnotíme během jejího skutečného používání. [2]

1.7.1 Nářadí a přístroje

Nářadí, měřicí přístroje i diagnostické přístroje jsou důležité pro správné provedení údržby, zkoušek a revizí a také ke správnému provedení předepsaných prohlídek. Pro správnou činnost údržby je nutné při vybavování pracoviště respektovat typ strojního zařízení, na kterém bude údržba provedena.

Při zpracování plánu pro vybavení dílny je nutné:

- Posoudit a rozvrhnout požadavky dle koncepce údržby
- Analyzovat existující vybavení, aby se stanovila jeho přiměřenost
- Stanovit nutnost nového vybavení nebo modifikace stávajícího vybavení

Měřicí přístroje používáme pro prokázání správné funkce zařízení. Pracoviště údržby se doporučuje vybavit diagnostickými přístroji, jako jsou základní dálkové měřiče, přístroj pro měření teploty, měření tlaku, lasery na kontrolu souososti, stetoskopy a jiné. Ostatní diagnostická měření typu termodiagnostika, vibrodiagnostika, tribodiagnostika nebo měření úniku vzduchu se doporučuje provádět specializovaným servisním

pracovištěm. Výsledky diagnostických měření by měly sloužit jako podklady pro správné plánování a vedení preventivní údržby. Podrobněji si diagnostiku rozvedeme v jiné kapitole. [2]

1.8 Trvalé zlepšování údržby

Údržba v každé společnosti prošla od svého vzniku určitým vývojem a reorganizací. Skoro vždy to mělo vést ke snížení nákladů. Jedním z řešení byl outsourcing, který nahrazuje vlastní údržbářské kapacity cizími (dodavatelskými) při výkonu činností, které se obvykle provádějí s využitím vlastních zdrojů. Organizační změny údržby vyžadují přísnou přípravu. Je potřeba zabezpečit všechny procesy údržby.

Každá změna, tedy i změna procesu údržby, musí mít svůj důvod-impulz. Přípravu, plán, realizaci a následně i vyhodnocení slibovaných přínosů. Tento postup lze dodržet při uplatňování principů projektového řízení, pokud je definován předmět změny, začátek změny, konec změny a zdroje, nutné k úspěšné realizaci změny. [2]

2 PROFIL SPOLEČNOSTI ČESKÁ ZBROJOVKA, A.S. UH. BROD

Česká zbrojovka Uherský Brod (dále jen „CZUB“) byla založena v roce 1936 jako pobočka České zbrojovky a.s. Strakonice. Samotná akciová společnost, jak ji známe v současné době, byla založena v roce 1992. CZUB je dlouholetým výrobcem ručních palných zbraní. Původně byla zaměřena na výrobu ručních vojenských zbraní, ale s postupem času se výroba rozšířila také o civilní zbraně, zejména v oblasti sportovní a lovecké. V současnosti CZUB vyváží svůj široký sortiment výrobků do asi 100 zemí světa a tím představuje jednoho z největších výrobců ručních zbraní na světě. Vysoká kvalita i dobré vlastnosti zbraní z CZUB vytvořily dobré jméno společnosti na domácím i zahraničním trhu. Česká zbrojovka investuje každoročně značné finanční objemy na nákup špičkových CNC strojů a výpočetní techniky, a proto přichází na trh stále s novými výrobky.



Obr. 4 Logo CZUB [10]

Mezi nejnovější numericky řízené obráběcí stroje v CZUB patří stroje Doosan DNM 500 a jejich údržba je hlavním tématem této bakalářské práce.



Obr. 5 Stroje Doosan DNM 500, stanoviště H2Z [1]

3 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA STROJŮ DOOSAN DNM 500

3.1 Technická diagnostika obecně

S rostoucí složitostí a cenou strojů se zvyšuje význam spolehlivého určení příčiny a místa poruchy, detekce postupně narůstajícího poškození, prognózování technického stavu. Tyto činnosti se nazývají technickou diagnostikou a jsou jejími hlavními úkoly.

Stále větší důraz je kladen na prevenci provozních problémů v důsledku technických závad. Vývoj technické diagnostiky proto směřuje od prostého hledání příčin zjevných poruch, přes pravidelné preventivní diagnostické kontroly, prohlídky nebo revize, k permanentnímu automatickému monitorování technického stavu strojů a jejich hlavních částí. [4]

Proto je technická diagnostika nepostradatelnou součástí systému údržby strojů a strojních zařízení.

3.1.1 *Vznik a historie technické diagnostiky*

Už 2000 let před naším letopočtem se využíval olivový olej k mazání kol. V roce 1470 se psala první studie o tření a opotřebení v ložiskách. Fyzikální výpočty, které se týkaly i dnešní technické diagnostiky byly zpracovány v roce 1678. O sedm let později se psalo o principu valivých ložisek. V roce 1785 byl zhotoven první tribometr. Přístroj pro měření teploty byl zhotoven v roce 1592. První teploměry, jak je známe v současnosti, vznikly v 18. Století. Počátky termokamer jsou spojeny s objevem infračerveného záření v roce 1800.

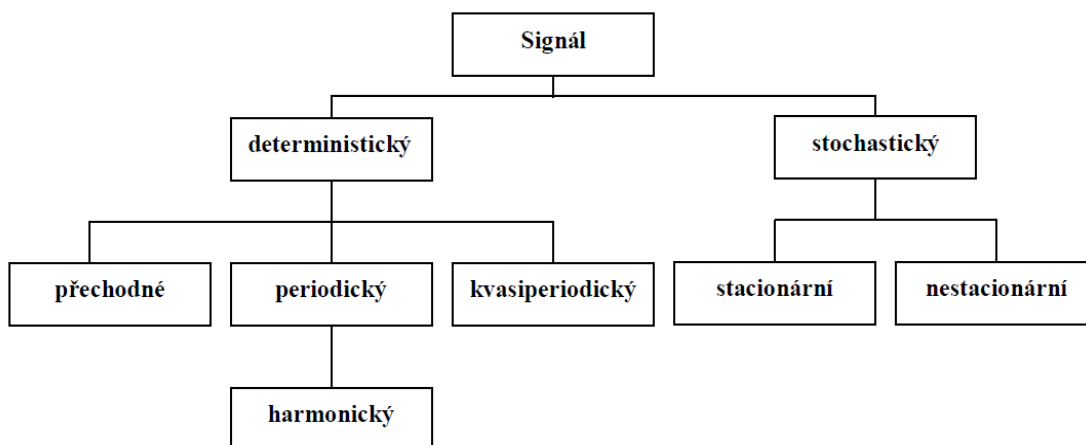
V roce 1795 byla vytvořena teorie, dnes nazývaná Fourierova transformace, která je základem vibrodiagnostiky. V 19. Století byla vydána kniha o kmitání a akustice.

K rozvoji nových metod docházelo i po první světové válce, ale období rychlého rozvoje nastalo až po roce 1945. Postupně se rozvíjely diagnostické metody, např. vibrodiagnostika, termodiagnostika, hluková diagnostika, tribodiagnostika aj. S rozvojem elektroniky se zrychlil i rozvoj přístrojové diagnostické techniky. [4]

3.1.2 Diagnostické signály

Diagnostickým signálem neboli diagnostickým ukazatelem se rozumí nějaká vhodná charakteristika diagnostikovaného objektu, jejíž hodnota je známým způsobem na technickém stavu tohoto objektu závislá a lze ji zjistit (pokud možno) bez demontáže. [2]

Signály lze podle různých hledisek orientačně dělit do skupin. Podle náhodnosti jejich průběhů lze rozdělit do několika kategorií na signály deterministické, jejichž časový vývoj odpovídá určitému funkčnímu předpisu a patří mezi ně periodické signály, kvaziperiodické signály, přechodné signály a pseudonáhodné. Další kategorií jsou signály náhodné tzv. stochastické a patří sem stacionární, nestacionární a cyklostacionární signály.



Obr. 6 Klasifikace signálů podle náhodnosti jejich průběhů [3]

Pro popis náhodných signálů se používají buď číselné charakteristiky jako jsou obecné a centrované statistické momenty (např. střední hodnota a rozptyl) nebo funkční závislosti jako je hustota pravděpodobnosti a distribuční funkce z pohledu rozdělení amplitud, korelační a kovarianční funkce z pohledu časového průběhu nebo výkonová spektrální hustota z pohledu frekvenčního. [4]

3.1.3 Diagnostické metody

Diagnostická metoda je způsob měření a vyhodnocení naměřených údajů za účelem stanovení technického stavu objektu.

Diagnostické metody jsou:

- Subjektivní, založené na individuálních schopnostech lidí (jejich smyslů) vnímat provozní projevy diagnostikovaného objektu a rozpoznat odchylky od normálního stavu. Využíváme sluch, zrak, hmat nebo čich.
- Objektivní, založené na exaktním měření zvolené fyzikální veličiny, jejíž hodnota je ukazatelem technického stavu diagnostikovaného objektu. Využíváme měření a analýzu provozních parametrů strojů (výkon, spotřeba paliva, otáčky, rychlost aj.), kmitání strojů (amplitudu, rychlost, zrychlení kmitů aj.), produktů opotřebení v olejových náplních (množství a druh otěrových částic a nečistot, změnu viskozity aj.), tepelných polí diagnostikovaného objektu a fyzikálních veličin (napětí, proud, tlak aj.). [2]

Při monitorování strojů se obvykle využívají jednotlivé diagnostické metody, z nichž každá je vhodná pro specifické části zařízení. Volba diagnostických metod proto vychází z typu diagnostikovaného zařízení a celkového použitého systému údržby.

Vibrodiagnostika

Je to bezdemontážní diagnostika vykonávaná při práci zařízení, založená na hodnocení mechanického kmitání, změřeného na pohyblivých i nepohyblivých částech stroje. Využívá se na běžné provozní monitorování strojů i pro diagnostické kontroly. Provádí se v režimu on-line i off-line. [6]

Termodiagnostika

Je založena nejčastěji na bezdotykovém měření povrchové teploty sledovaného objektu. Obvykle se pro měření používá termokamera, která zobrazuje rozložení povrchové teploty snímaného objektu. Termokamera snímá infračervené záření sledovaného objektu, vypočítává povrchovou teplotu a vytváří viditelný obraz

rozložení povrchové teploty objektu. Jde o bezdemontážní, bezkontaktní měření, prováděné během práce sledovaného objektu. [6]

Tribodiagnostika

Je to bezdemontážní diagnostická metoda, využívající mazivo jako nositele informací o změnách v mazaných místech. Jejím posláním je zjistit a vyhodnotit výskyt cizorodých látek v mazivu a jeho fyzikální i chemické změny, a to kvantitativně i kvalitativně. [6]

Vizuální kontroly

Mohu být prováděny různými způsoby, mezi nejčastější patří endoskopické kontroly, prováděné průmyslovými endoskopy, resp. boroskopy. Jsou to kontroly, nevyžadující zpravidla rozsáhlejší demontáž kontrolovaného zařízení. Kontroly se provádějí v klidovém stavu zařízení. [2]

3.1.4 Trendy v technické diagnostice

Současný trend směřuje k využití efektu ze společného působení diagnostiky a všech dostupných principů procesního řízení v integrovaném systému řízení podniku.

Jednou z nových technologií jsou bezdrátové technologie. Snižují náklady na komunikaci a umožňují rychlejší a účinnější přenos informací. Dále umožňují zlepšit monitorovací možnosti a získávat údaje z měřených míst, která nebylo možno monitorovat běžnými technologiemi. Výhodou je flexibilita a snadné přemísťování. Instalace je jednodušší, protože odpadá potřeba kabelů. Prvky v bezdrátové síti mohou přijímat a vysílat údaje předávat je do nadřazeného systému. [2]

Stále více se využívá permanentní sledování hlavních funkcí a částí strojů tzv. palubní diagnostika. Může tvořit první stupeň v systému údržby podle stavu zařízení. Ze způsobu určení diagnózy je zřetelný trend využívání signálů vznikajících během provozu strojů či jejich částí. Tyto signály jsou snímány snímači, které jsou součástí konstrukce již z výroby. V současnosti jsou tyto signály využívány pro řízení funkce strojů.

Je zřejmé, že jsou nositeli diagnostických informací a že se postupně uplatní také jako diagnostické signály. Z pohledu technické diagnostiky v systému údržby je zřetelný trend směřující ke zcela bezdemontážním nepřímým způsobům, jež budou během provozu permanentně vykonávány jako běžná funkce palubního řídicího systému. Jejich výsledky budou podnětem pro vykonání potřebných údržbářských zásahů. Budou také evidovány pro zpětnou rekonstrukci provozu, bude-li to třeba, např. z legislativních důvodů (povinné prohlídky a kontroly) nebo při stanovení odpovědnosti (havárie, úrazy, pojistné události). [6]

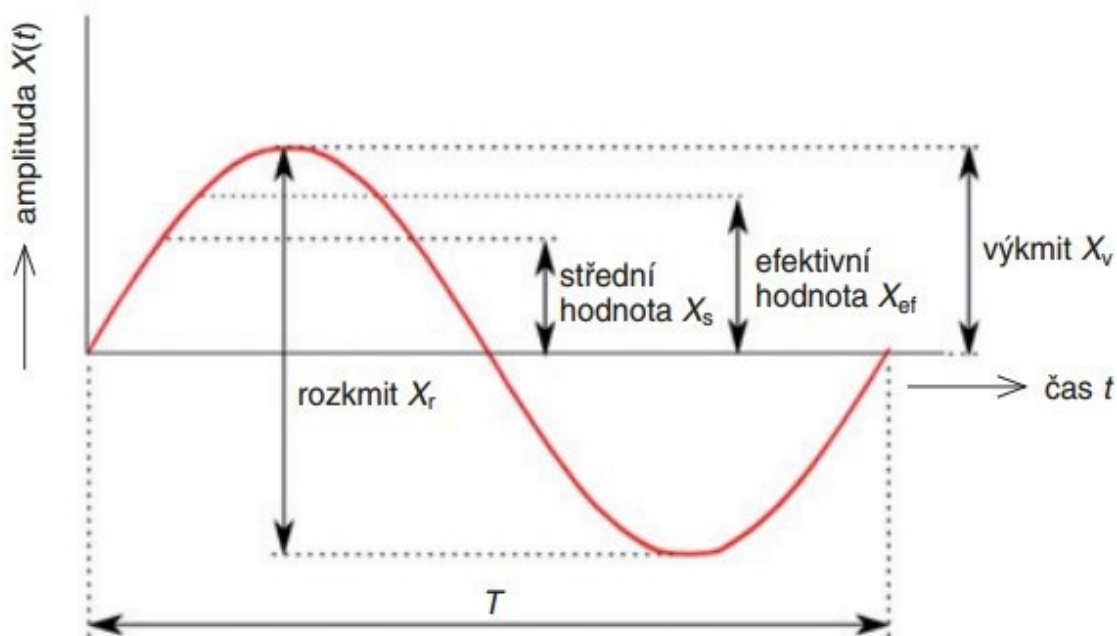
3.2 Vibrodiagnostika

Nejpoužívanější metodou technické diagnostiky rotačních strojů je vibrodiagnostika, která je založená na analýze vibrací a využívá je jako diagnostické signály charakterizující mechanický stav stroje. Každá mechanická závada vytváří vibrace svým specifickým způsobem a díky tomu je lze využít při určování, o jaký druh závady se jedná. Podle vibrací můžeme posuzovat nesouosost, nevyváženost, opotřebení ložisek, ohnuté hřídele, nedostatečně tuhé základy apod. Celkové vibrace tedy představují celkovou vibrační energii měřenou v určitém frekvenčním rozsahu. [4]

3.2.1 Základní pojmy

Mechanické kmitání je děj, při kterém hmotný bod nebo těleso vykonává vratný pohyb kolem klidové rovnovážné polohy. Rovnovážná poloha tělesa je podmíněna nulovou hodnotou působících sil a naopak kmitání je vždy způsobeno budící silou.

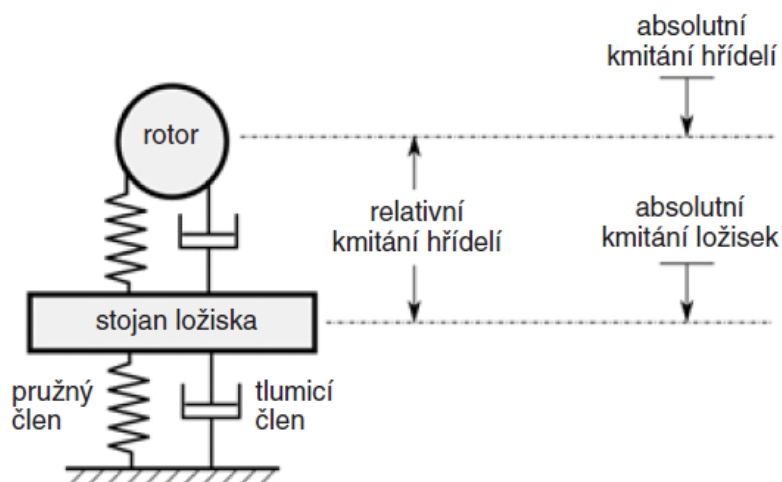
Základní veličinou kmitavého pohybu je frekvence (kmitočet) f [Hz], která je převrácenou hodnotou periody T [s], tj. doba trvání jednoho kmitu. Dalšími veličinami jsou výkmit (amplituda) X_v , efektivní hodnota (RMS) X_{ef} , střední hodnota X_s , rozkmit X_r . Mechanické kmitání určují také výchylka, rychlost a zrychlení, které jsou navzájem závislé. Můžeme je vyhodnotit pomocí frekvenčních spekter a zároveň určit možné vznikající poruchy nebo potíže. [7]



Obr. 7 Hodnotící parametry časového průběhu kmitavého pohybu [7]

3.2.2 Snímače kmitání

Vibrodiagnostikou můžeme snímat a vyhodnocovat řadu signálů, které charakterizují chvění daného místa stroje. Abychom zcela nezhodnotili naše snažení, je důležité určit, zda se jedná o vibrace absolutní nebo relativní, což nám pomůže při výběru příslušného typu snímače. Absolutní vibrace zpravidla popisují pohyb sledované části stroje nebo jeho částí vzhledem k pevné základně a vlastní měření lze uskutečnit pomocí snímačů polohy, rychlosti nebo zrychlení. Při relativním měření se jedná o pohyb vzhledem k vhodně zvolené základně např. rám stroje. [2]



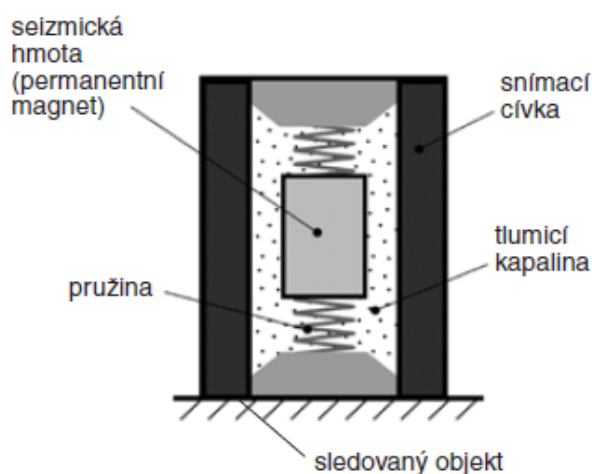
Obr. 8 Absolutní a relativní vibrace [7]

Snímače výchylky

V současné době se ve vibrodiagnostice nejvíce používají snímače indukčnosti, které využívají závislost indukčnosti cívky na proudové hustotě vířivých proudů. Vzhledem k vysokofrekvenčnímu principu jsou snímače citlivé na parazitní vlivy, jako např. vnější elektromagnetická pole, délka kabelu atd. Proto se vyrábějí jako integrované, kdy kovový stínící kryt obsahuje cívku a základní část elektroniky. Poslední dobou se stále více používají i bezkontaktní optické snímače výchylky. [7]

Snímače rychlosti

Snímač rychlosti je seismické zařízení, které generuje napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti měřeného tělesa. Obecně se tyto snímače montují na nerotující část stroje. Snímač rychlosti vibrací má uvnitř snímače cívku, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu. [3]

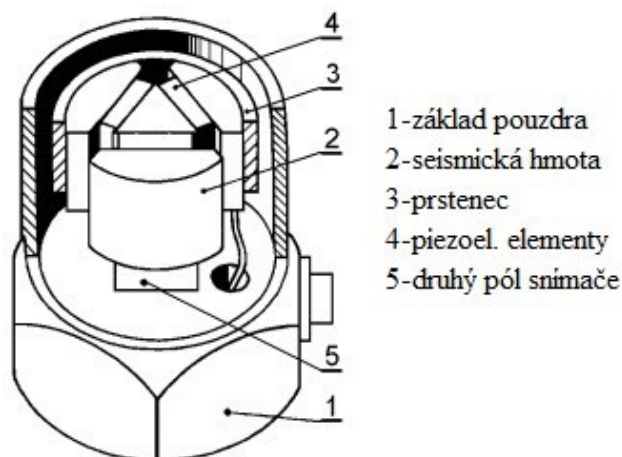


Obr. 9 Snímač rychlosti kmitavého pohybu [7]

3.2.3 Akcelerometry

Jsou to nejrozšířenější snímače pro monitorování stavu vibrací, jejichž výstup může být zpracován tak, aby dával libovolnou veličinu (výchylku, rychlost i zrychlení). Je to seismické zařízení generující výstupní signál úměrný mechanickému vibračnímu zrychlení měřeného tělesa. Montují se na stacionární části stroje. Jsou dostupné v různých velikostech a charakterizuje je velký dynamický a široký frekvenční rozsah. Typický akcelerometr obsahuje jeden nebo více piezoelektrických krystalů. Tento

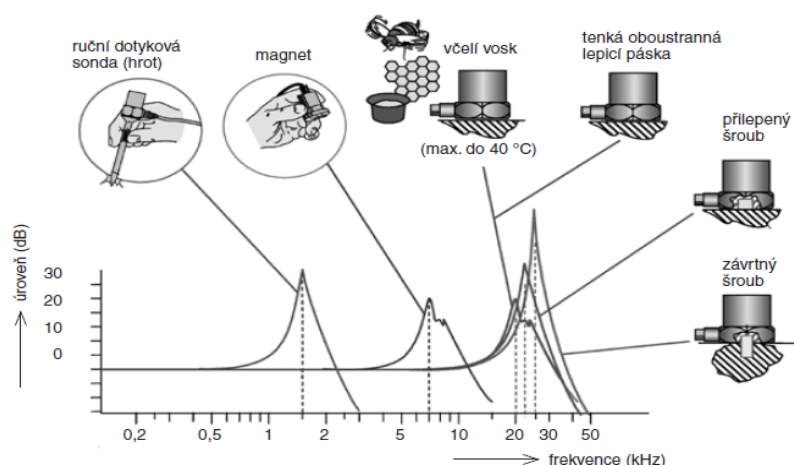
krystal produkuje elektrický náboj a podle jeho umístění rozeznáváme akcelerometr tlakový nebo smykový. [3]



Obr. 10 Smykový akcelerátor [4]

3.2.4 Uchycení snímačů

Správné měření vibrací strojů je závislé na správném upevnění snímačů. Snímače připevňujeme na očištěný povrch a pokud možno co nejblíže místu vibrací. Způsob upevnění snímačů má vliv na frekvenční rozsah, v němž je možné vibrace měřit. Nejmenšího ovlivnění frekvenčního rozsahu dosáhneme při upevnění snímačů závrtnými šrouby, popř. ještě vylepšíme přidáním tenké vrstvy silikonové vazelíny mezi styčné plochy. Naopak nejproblémovější jsou snímače s ručním hrotem nebo magnetickou přichytkou, které však mají nezastupitelný význam při hledání vhodného měřicího místa.



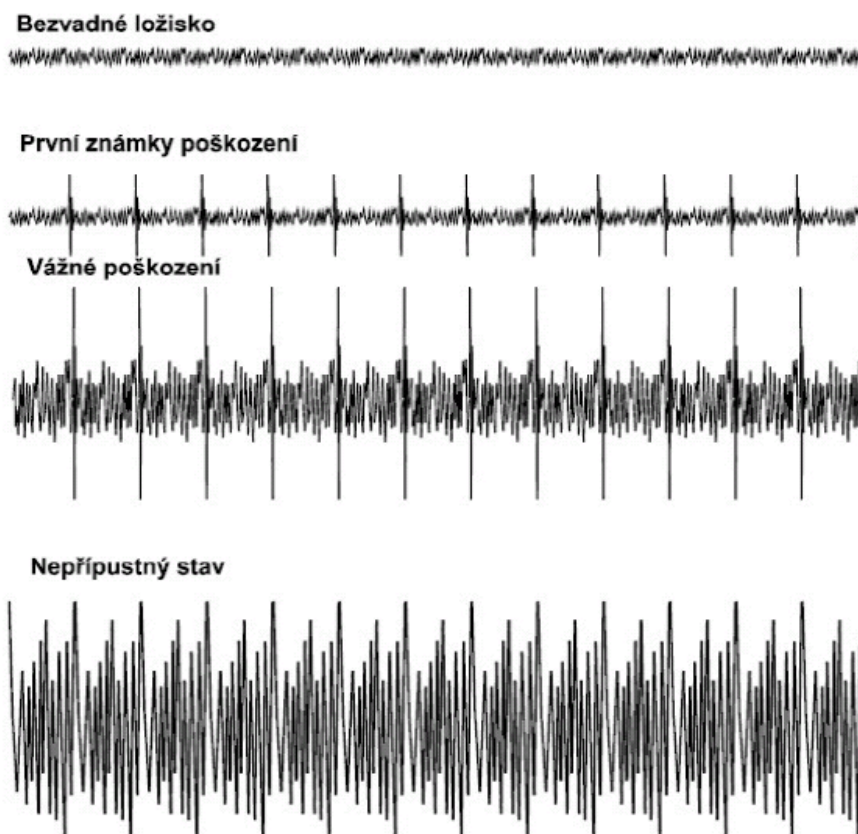
Obr. 11 Vliv způsobu uchycení snímače na jeho frekvenční charakteristiku [7]

3.2.5 Vyhodnocování měření

Je známo, že drtivá většina všech příčin poškození rotačních strojů vzniká nedostatečným mazáním nebo špatným geometrickým ustavením strojů. Samotná vibrodiagnostika není schopná odhalit většinu těchto problémů, proto provádíme kontrolu strojů několika metodami. Pouze komplexní hodnocení celkových hodnot, jejich trendů, statická analýza signálu, Hilbertova a Fourierova transformace v několika frekvenčních pásmech včetně ultrazvuku umožňují spolehlivě odhalit všechny problémy strojů. [2]

3.2.6 Časový průběh

Hodnoty parametrů kmitavého pohybu se obecně mění v čase. Analýza vibrodiagnostického signálu v časové oblasti je založena na vyhodnocení neměřených dat časových průběhů signálů charakteristických veličin, jako je výchylka, rychlost a zrychlení. Používá se, pokud existuje jediný nebo alespoň dominantní zdroj vibrací, jinak se diagnostický signál ztrácí v šumu signálu způsobeném přenosem vibrací z různých oblastí a určení příčiny vibrací je pak velmi omezené. [4]



Obr. 12 Časové spektrum vibrací [1]

Celkové vibrace

Celkové vibrace stroje jsou měřítkem energie, která souvisí se všemi frekvencemi vibrací v daném bodě. Výhodou je rychlost vyhodnocení a nízké pořizovací náklady. Hodnotu celkových vibrací porovnáváme s provedeným měřením při bezporuchovém stavu stroje, srovnáváme s nastavenými limitními hodnotami a vyhodnocujeme časové trendy veličin. Mohutnost vibrací měříme ve třech směrech (vertikální, horizontální, axiální) a v definovaném kmitočtovém pásmu.

Mohutnost (rychlost) kmitání v_{ef} (mm/s)	Kategorie A (do 15 kW)	Kategorie M (15 až 75 kW)	Kategorie G (nad 75 kW)
45	nepřípustné kmitání	nepřípustné kmitání	nepřípustné kmitání
28			
18			
11,2			
7,1			
4,5	kmitání na mezi přípustnosti	kmitání na mezi přípustnosti	kmitání na mezi přípustnosti
2,8			přípustné kmitání
1,8			
1,12	přípustné kmitání	přípustné kmitání	malé kmitání
0,71			
0,45			
0,28			
0,18			

Obr. 13 Orientační meze vibrací stroje [7]

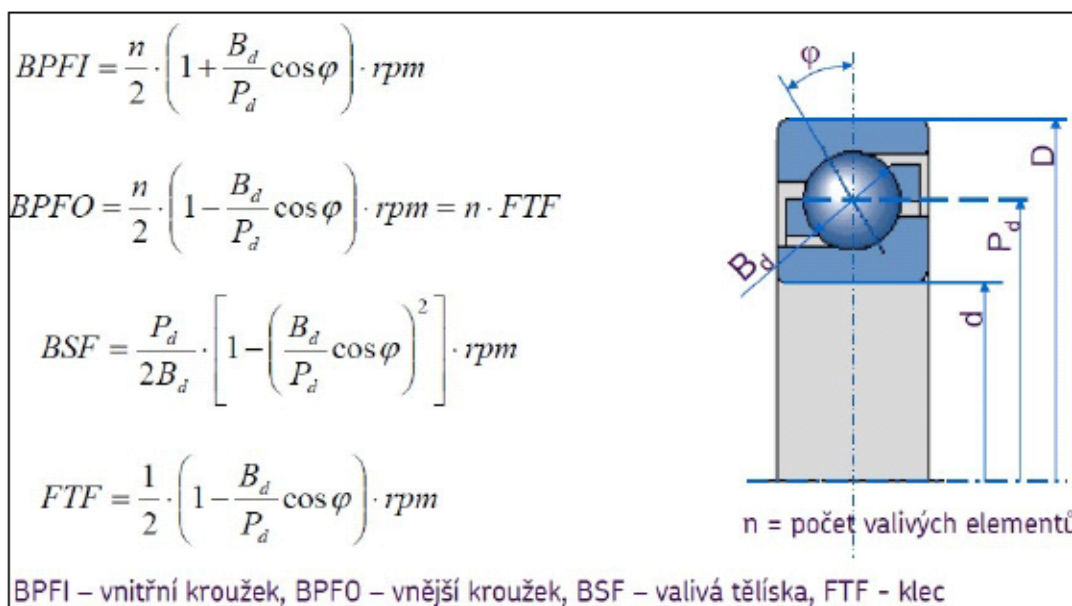
3.2.7 Frekvenční průběh

Frekvenční analýza při správném použití odstraňuje nedostatky analýzy v časové oblasti. Je jedinou metodou, která je schopná lokalizovat vznikající poruchy jednotlivých strojních částí sledovaného objektu. Úplná frekvenční analýza se prezentuje jak amplitudovým tak fázovým spektrem. Fázové spektrum umožňuje analyzovat fázové poměry mezi jednotlivými komponentami amplitudového spektra. [5]

3.2.8 Rozbor závad rotačního systému

K posouzení skutečného stavu strojních zařízení a identifikaci a lokalizaci jejich poškození nebo vznikajících poruch je nutné provést rozbor výsledků frekvenční analýzy. Jejím použitím získáme informace o oblasti skutečných otáčkových frekvencí, ale i o problémech na násobcích otáčkové frekvence. Rozbor dělíme do tří hlavních kategorií:

- a) **Oblast nízkých kmitočtů** odpovídá kmitočtovému pásmu otáček hřídele. Získáváme informace o závadách způsobených nevyvážeností, ohybem hřídelí, přesazením hřídelí, nestabilitou radiálních ložisek a uvolněním mechanických vazeb.
- b) **Oblast středních kmitočtů** odpovídá kmitočtovému pásmu zubových frekvencí ozubených kol převodovek. Analyzováním těchto kmitočtů lze detekovat závady typu: opotřebení stykové plochy zubu, ohnutý hřídel, nesouosost hřídelů, nadměrná vůle atd.
- c) **Oblast vysokých kmitočtů** obsahuje informace o počínajících závadách valivých ložisek. Počáteční závadou ložiska bývá trhlina nebo jamka na jednom z prvků ložiska. Poškozený prvek vyvolává při styku s dalším prvkem mechanické rázy, při nichž dochází k přenosu kinetické energie na těleso ložiska, které se po rázu rozkmitá na vlastním kmitočtu. Tyto kmity jsou tlumené a rychle doznívají. [5]



Obr. 14 Vztahy pro lokalizaci závady na ložisku. B_d – průměr kuličky, D – vnější průměr, d – vnitřní průměr, P_d – roztečný průměr, φ – úhel dotyku. [1]

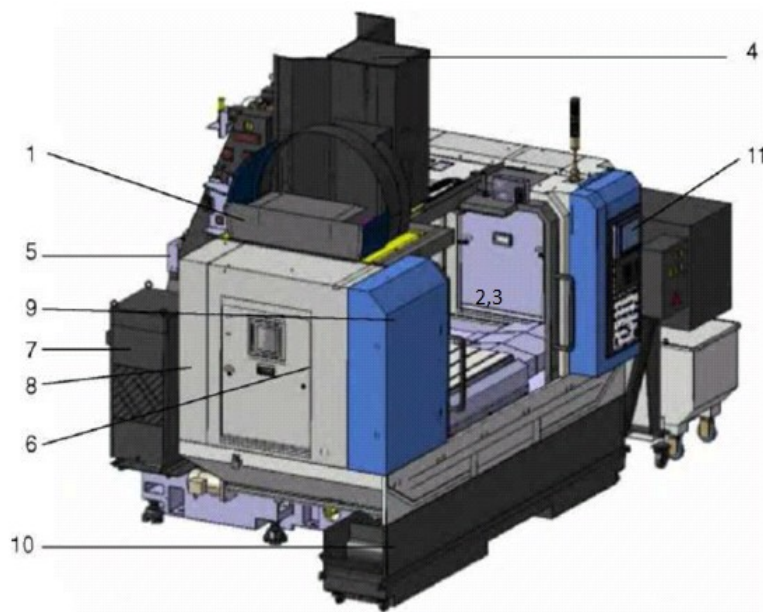
4 TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE DOOSAN DNM 500

Tento stroj byl zhotoven pro poloautomatické a automatické obrábění kovových dílů. Automatický provoz znamená, že stroj je řízen počítačovým programem.

Tab. 2. Technické parametry Doosan DNM 500 [1]

Doosan DNM 500		
Položka	Jednotka	Technická data
Pracovní prostor X/Y/Z	[mm]	1020/540/510
Otáčky vřetena	[min ⁻¹]	12000
Výkon motoru	[kW]	10/17
Typ motoru		QAN200U/1200
Řídicí systém		HEIDENHAM
Typ kuželu		ISO#40, 7/24
Přenos energie		Řemen & Řemenice
Počet nástrojů v zásobníku	[ks]	30/40
Max. rozměry nástroje	[mm]	125/300
Typ povrchu stolu		T-drážky
Rozměry stolu	[mm]	1200/540
Max. výška obrobku	[mm]	465
Povolené zatížení	[kg]	800
Rychloposuv	[m/min]	36/36/30
Přesnost	[mm]	±0.005

4.1 Hlavní části stroje



Obr. 15 Doosan DNM 500 [1]

1. Automatický měnič nástrojů (ATC)

Je umístěn v levé části stroje. Pomocí vačkového zařízení provádí rychlou výměnu nástrojů v zásobníku i vřeteníku.

2. Stůl

Je umístěn v přední části stroje a umožňuje rychlé a jednoduché vkládání obrobků.

3. Systém os

Systém os se skládá ze soustavy os a kuličkového šroubového převodu-servomotoru, který provádí posun. Pro rychlý posun os X,Y,Z a maximální tuhost slouží kluzné vedení.

4. Vřeteník

Tato jednotka spolu s upínacím zařízením generuje řeznou sílu. Vřeteno je doprovázeno vysoce přesnými kuličkovými ložisky. K dispozici jsou rozličné hodnoty rychlostí a výkonů v závislosti na volitelném vybavení.

5. Servisní vzduchová jednotka

Reguluje a čistí stlačený vzduch, který používáme jako zdroj energie nebo také při čištění stroje.

6. Jednotka mazání

Dodává mazací olej k vodícím drážkám a ložiskům kuličkového šroubového převodu. Z bezpečnostních důvodů obsahuje tlakový a plovákový spínač.

7. Olejový chladič – standardní

Mazací jednotka dodává olej k ložiskům vřetena.

8. Lapač nečistot

Zaručuje čisté prostředí, protože zabraňuje chladicí kapalině a třískám, aby byly roznášeny po okolí a chrání také operátora před nebezpečím.

9. Štítky

Zobrazují značení stroje, bezpečnostní opatření a nákres hydraulického nebo vzduchového obvodu.

10. Zařízení chladicí kapaliny a třísek

Skládá se ze zařízení, které dodává chladicí kapalinu do obráběcího prostoru z důvodu hladšího průběhu obrábění a ze zařízení odstraňuje třísky.

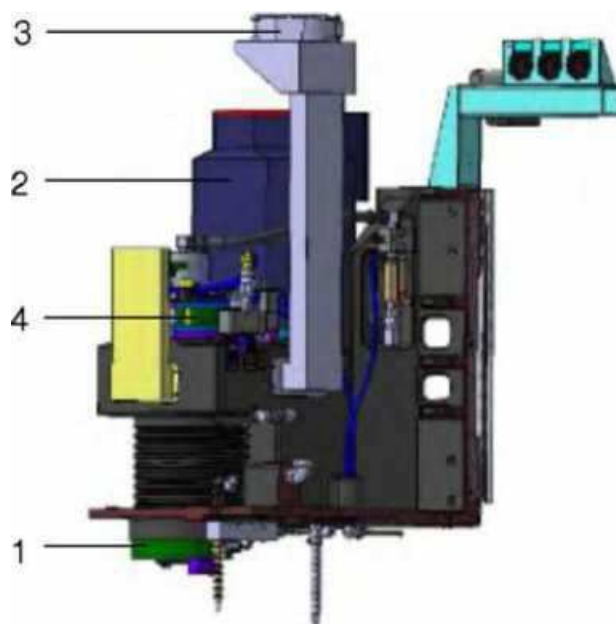
11. Elektrická zařízení

Zajišťují hlavní přívod proudu ke stroji. [1]

4.1.1 Vřeteník

Skládá se čtyř částí:

- 1 – vřeteno – plní funkci upnutí nástroje a rotace
- 2 – hnací jednotka – generuje energii potřebnou pro rotaci
- 3 – větrák – odvádí teplo generované řemenem
- 4 – zařízení upnutí nástroje – provádí upnutí nebo uvolnění při výměně nástrojů



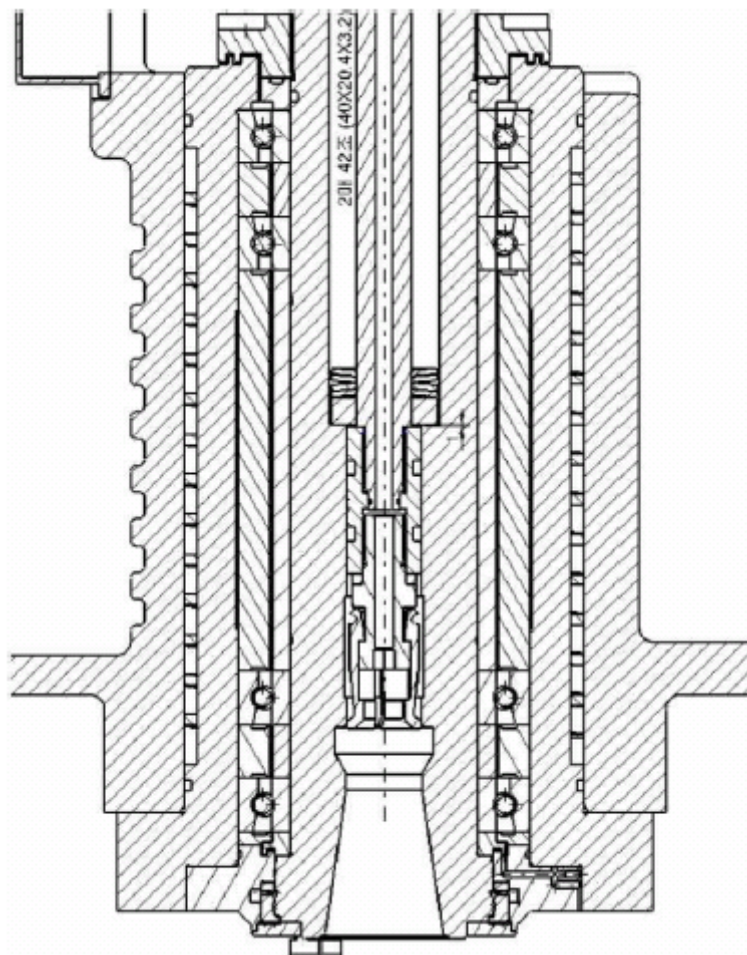
Obr. 16 Vřeteník Doosan DNM 500 [1]

4.2 Vřeteno

Vřeteno má za úkol zabezpečit nástroji nebo obrobku přesný rotační pohyb. Při tomto pohybu se všechny body nástroje nebo obrobku pohybují po trajektoriích, které se od ideálních kružnic liší pouze s přípustnou mezí. Zároveň musí vřeteno dodat

dostatečný výkon a kroutící moment pro obrábění. Vřeteno nám musí zaručit následující požadavky:

- Přesný chod – určen velikostí radiálního a axiálního házení
- Dokonalé vedení – nesmí se měnit poloha vřetena v prostoru, dokud se směr zatížení mění.
- Minimální zdroje tepla – nadbytečné zahřívání ložisek je nepřípustné
- Maximální tuhost – deformace a přesnost chodu ovlivňuje přesnost práce a výkon stroje.
- Dobré tlumení celého vřetena.
- Vysoká dynamika – zajištění rychlého rozběhu na pracovní otáčky i okamžité zabrzdění.

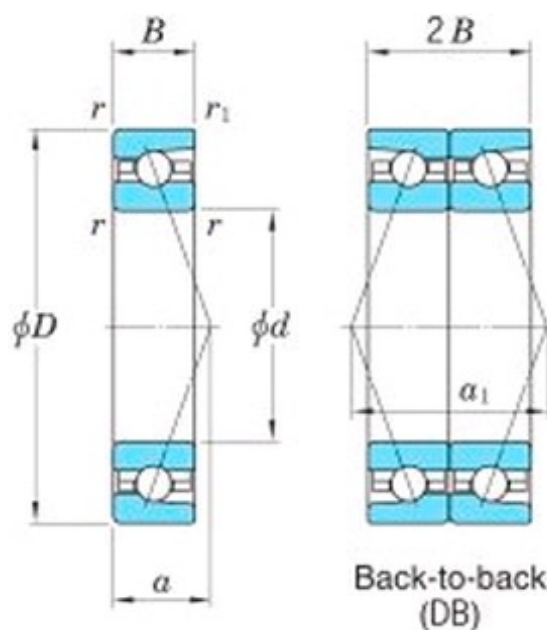


Obr. 17 Vřeteno Doosan DNM 500 [1]

4.2.1 Charakteristika vřetenových ložisek

Informace o typu ložisek ve vřetenech poskytl servis - TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE s.r.o., provádějící servis strojů Doosan DNM 500. Jedná se o typ ložisek 3NCHAR014CA-6DBBCS10. Další informace tohoto typu jsou k dohledání v online katalogu společnosti Koyo. Jedná se o keramická kuličková ložiska s kosoúhlým stykem.

Hlavní rozměry [mm]						
d	D	B	r_{\min}	$r_{l\min}$	a	a_1
70	110	20	1.1	0.6	26.4	52.8



Obr. 18 Ložisko 3NCHAR014CA-6DBBCS10 [11]

5 VIBRODIAGNOSTIKÉ MĚŘENÍ VŘETENOVÝCH LOŽISEK

Měření je zdrojem informací pro vývoj, výrobu, provoz i údržbu prakticky všech zařízení používaných v každodenní praxi strojího odvětví. Před samotným měřením je důležité určit, co se bude měřit, jakou metodou a vybrat vhodné místo pro sběr hodnot. Neméně důležité je vybrat správný stroj a nastavit potřebné parametry. V neposlední řadě je potřeba zvolit správný postup měření a mít k dispozici vhodný software pro vyhodnocení naměřených hodnot. Dle těchto hodnot se může stanovit doporučení pro následný provoz a údržbu stroje.

V této kapitole je popsáno vibrodiagnostické měření, které bylo provedeno vibračním analyzátozem Adash A4400 – VA4Pro a vyhodnoceno softwarem Virtual Unit A4400.

5.1 Měřicí přístroj Adash A4400 – VA4Pro

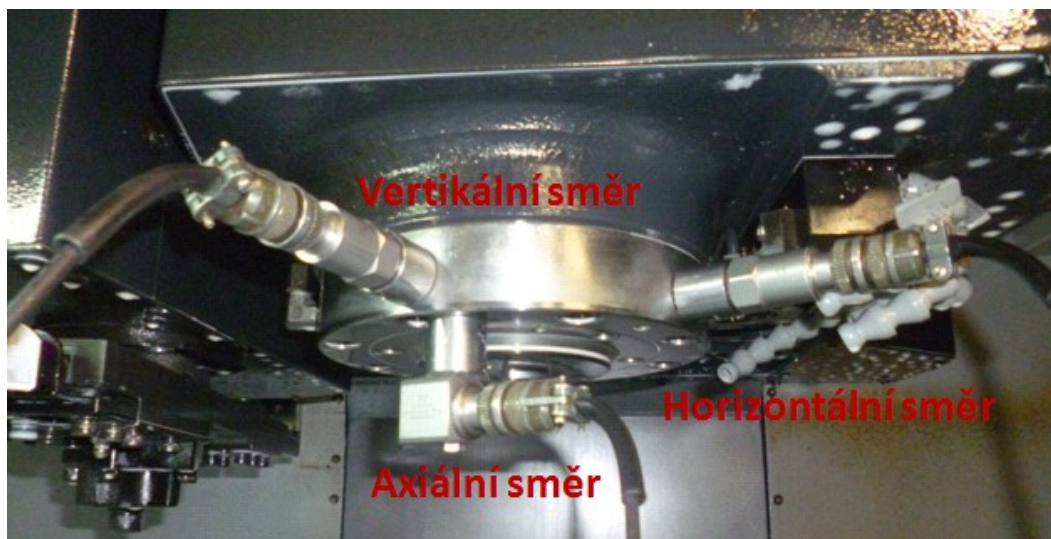
Analyzátor vibrací Adash A4400 – VA4Pro je přístroj, kterým provádíme vibrační diagnostiku strojů. Tento přístroj je stále vyvíjen a nové vlastnosti a funkce jsou přidávány hodně často. Poslední verze obsahuje základní moduly analyzátoru, datakolektoru, rekordéru a rovněž modul pro provádění akustických měření. Dále obsahuje moduly pro provozní vyvažování strojů, měření rozběhů a doběhů, kontrolu mazání a poslech vibračního signálu. Přístroj je také vybaven systémem pro automatickou detekci poruch strojů. Je vhodný pro pochůzková, kontrolní a servisní měření. Součástí přístroje jsou také tři snímače pro měření vertikálního, horizontálního a axiálního směru.



Obr. 19 Analyzátor vibrací Adash A4400 – VA4Pro [9]

5.2 Výběr místa měření

Výběr správného měřicího místa je velmi důležité z důvodu nezkrivených výsledků měření. Pro zjišťování hodnot vibrací u strojů Doosan DNM 500 byly vybrány přední části vřetena, které jsou nejlépe dostupné pro měření vřetenových ložisek. Měření proběhlo v nezátíženém stavu bez nástroje při otáčkách 3600 min^{-1} . Měření bylo provedeno ve třech směrech: vertikálním, horizontálním a axiálním.



Obr. 20 Měřicí místo Doosan DNM 500 [1]

5.3 Postup měření

Po zapnutí měřicího přístroje bylo provedeno nastavení požadovaných hodnot. Po ukončení výrobního procesu stroje byl odebrán obráběcí nástroj, otevřen pracovní prostor a bylo zajištěno automatické zavírání dveří speciálním klíčem. Následovalo očištění přední části vřetene a pomocí magnetu byly připevněny měřicí snímače ve třech směrech. Mezitím obsluha stroje provedla nastavení otáček na 3600 min^{-1} . Spuštěním vřetena bylo zahájeno samotné měření trvající přibližně 1 min. Po ukončení měření a odebrání snímačů byl obnoven pracovní cyklus. Vyhodnocení naměřených výsledků provedeme pomocí příslušného programu na počítači.

5.4 Aplikace A4410 Virtual Unit

Program A4410 Virtual Unit pracuje jako skutečný přístroj A4400 – VA4Pro a pomocí této aplikace jsme schopni zpracovávat naměřené záznamy na osobním počítači.

Po připojení přístroje k počítači pomocí USB kabelu zkopírujeme naměřené záznamy do virtuálního přístroje. Pomocí aplikace analyzátor můžeme vyhodnotit uložené informace, vytvořit grafy frekvenčních spekter, zobrazit časový průběh vibrací apod.

5.5 Vyhodnocení měření

Měření vibrací včetně bylo provedeno na všech strojích Doosan DNM 500 za stejných podmínek a při otáčkách 3600 min^{-1} v celkovém počtu 19 měření. Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky 3. a tabulky 4. Pro vyhodnocení byla použita norma ČSN 10816-3 pro stroje střední velikosti se jmenovitým výkonem nad 15kW až do 300kW včetně; elektrické stroje s výškou hřídele 160 až 315mm.

Tab. 3. Naměřené hodnoty stanoviště závěry

ZÁVĚRY PISTOLÍ		Hodnota v [mm/s]			Hodnota v [g]		
Pozice	Číslo stroje	kanál 1	kanál 2	kanál 3	kanál 1	kanál 2	kanál 3
H1Z-1	MV 0010-001770	0,102	0,092	0,099	0,262	0,239	0,126
H1Z-2	MV 0010-001825	0,072	0,113	0,132	0,037	0,038	0,041
H1Z-3	MV 0010-001769	0,056	0,124	0,068	0,097	0,063	0,107
H2Z-1	MV 0010-001830	0,058	0,073	0,078	0,209	0,238	0,182
H2Z-2	MV 0010-001827	0,076	0,072	0,066	0,091	0,151	0,054
H2Z-3	MV 0010-001828	0,115	0,264	0,152	0,311	0,317	0,298
H3Z-1	MV 0010-001804	0,057	0,043	0,091	0,056	0,033	0,041
H3Z-2	MV 0010-001805	0,043	0,046	0,048	0,034	0,024	0,035
H3Z-3	MV 0010-001826	0,071	0,053	0,062	0,044	0,029	0,034

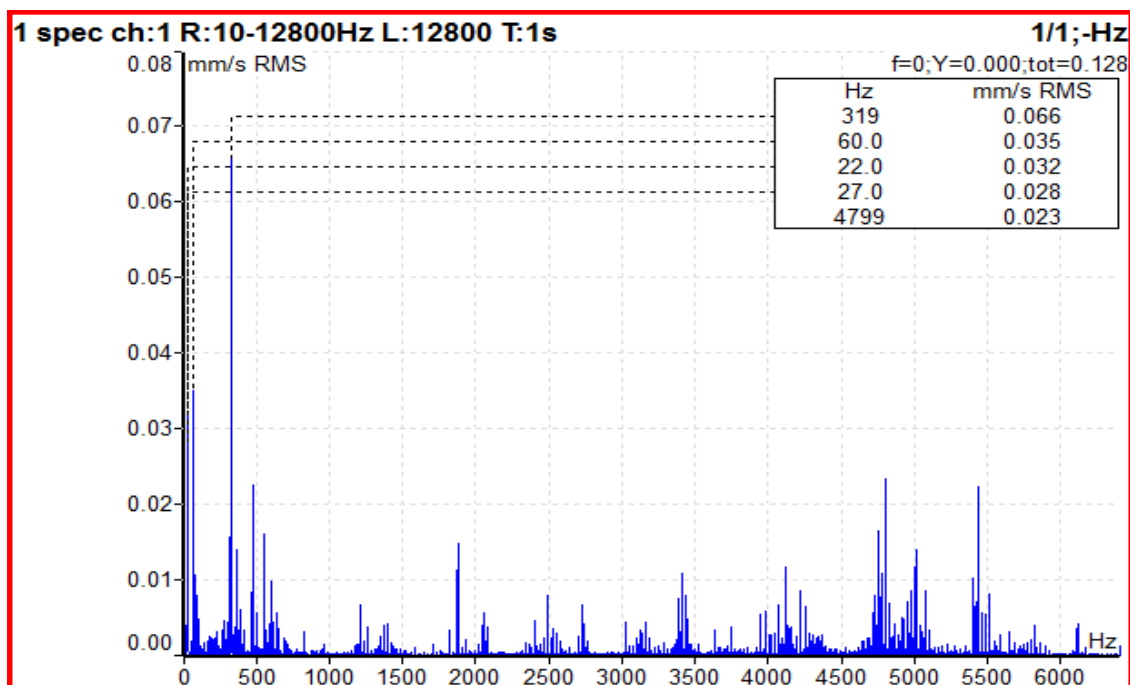
Tab. 4. Naměřené hodnoty stanoviště rámy

RÁMY PISTOLÍ		Hodnota v [mm/s]			Hodnota v [g]		
Pozice	Číslo stroje	kanál 1	kanál 2	kanál 3	kanál 1	kanál 2	kanál 3
H1R-1	MV 0010-001886	0,043	0,038	0,041	0,041	0,039	0,048
H1R-2	MV 0010-001888	0,096	0,071	0,072	0,041	0,035	0,036
H1R-3	MV 0010-001887	0,088	0,064	0,073	0,047	0,039	0,062
H2R-1	MV 0010-001864	0,167	0,172	0,196	0,229	0,173	0,256
H2R-2	MV 0010-001865	0,12	0,093	0,112	0,041	0,036	0,049
H2R-3	MV 0010-001877	0,119	0,125	0,078	0,053	0,034	0,033
H3R-1	MV 0010-001940	0,112	0,078	0,094	0,05	0,041	0,064
H3R-2	MV 0010-001941	0,099	0,069	0,098	0,047	0,049	0,053
H3R-3	MV 0010-001942	0,108	0,057	0,099	0,046	0,029	0,039
HR0	MV 0010-001829	0,123	0,145	0,052	0,035	0,031	0,031

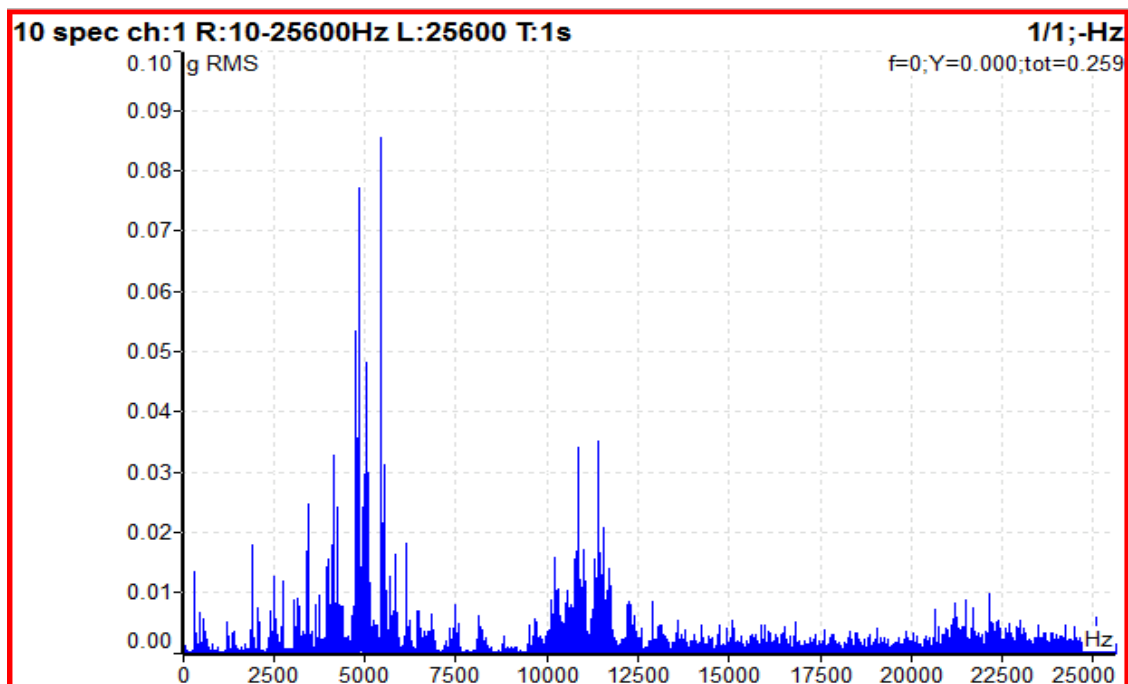
Pro grafické vyhodnocení byly z každé tabulky vybrány dva stroje, které měly nejvyšší hodnotu vibrací. Ačkoliv se jedná o zcela nové stroje a hodnoty kmitání jsou velmi dobré, objevily se výjimky, které bych doporučoval nadále sledovat a kontrolovat.

Stanoviště H1Z - 1 výroba závěrů pistolí

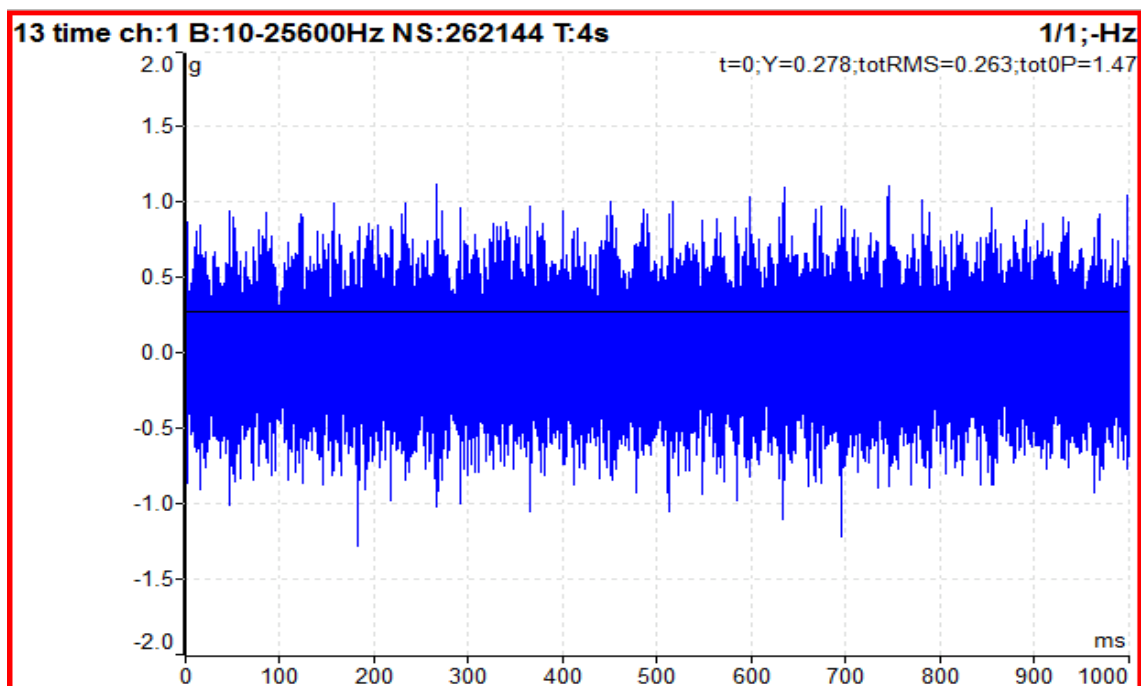
MV 0010-001770	a_{RMS} [g]	v_{RMS} [mm/s]
Vertikální směr	0,262	0,102
Horizontální směr	0,239	0,092
Axiální směr	0,126	0,099



Obr. 21 Vertikální směr – rychlost, stroj MV 0010-001770



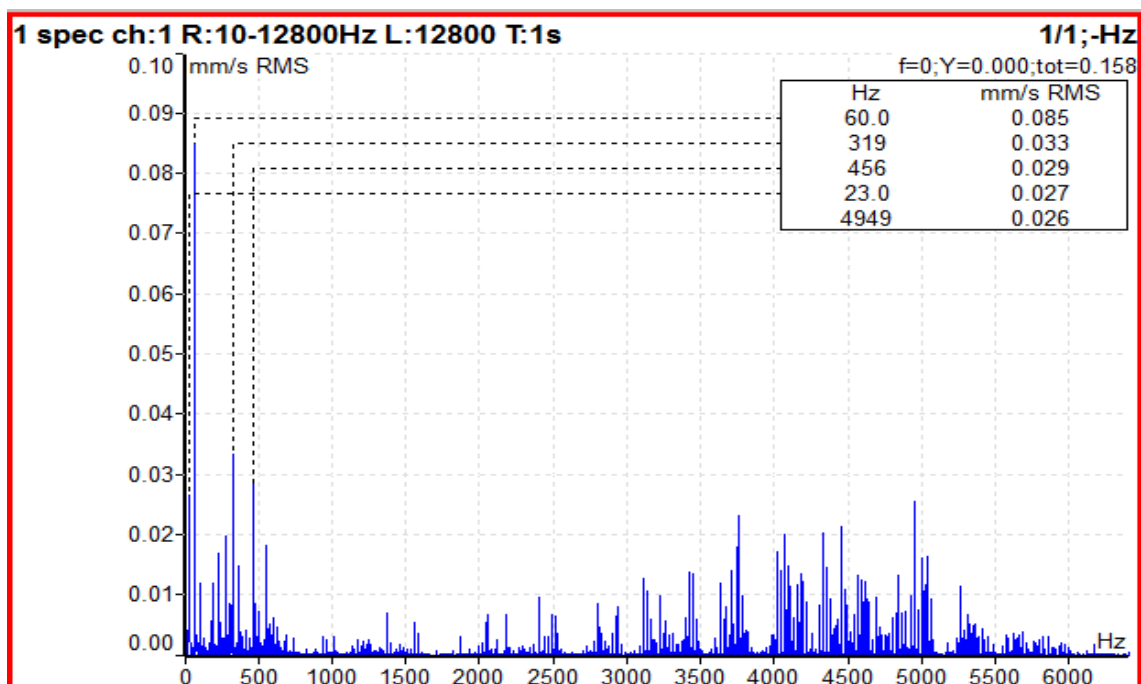
Obr. 22 Vertikální směr – zrychlení, stroj MV 0010-001770



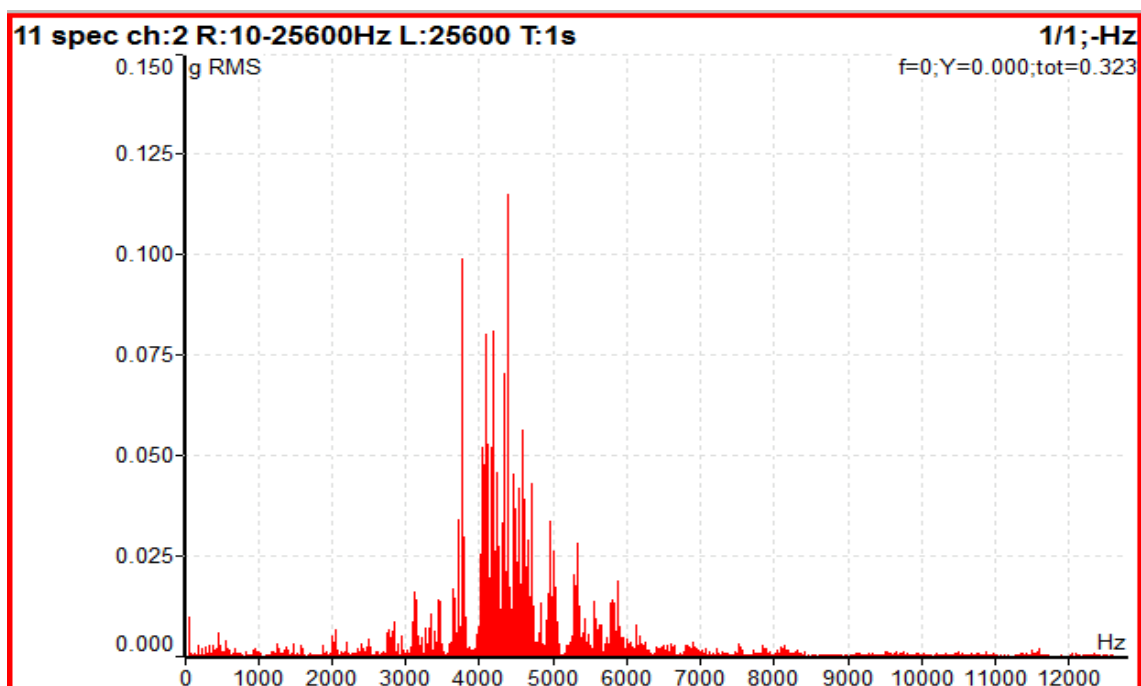
Obr. 23 Časový průběh vibrací, stroj MV 0010-001770

Stanoviště H2Z - 3 výroba závěrů pistolí

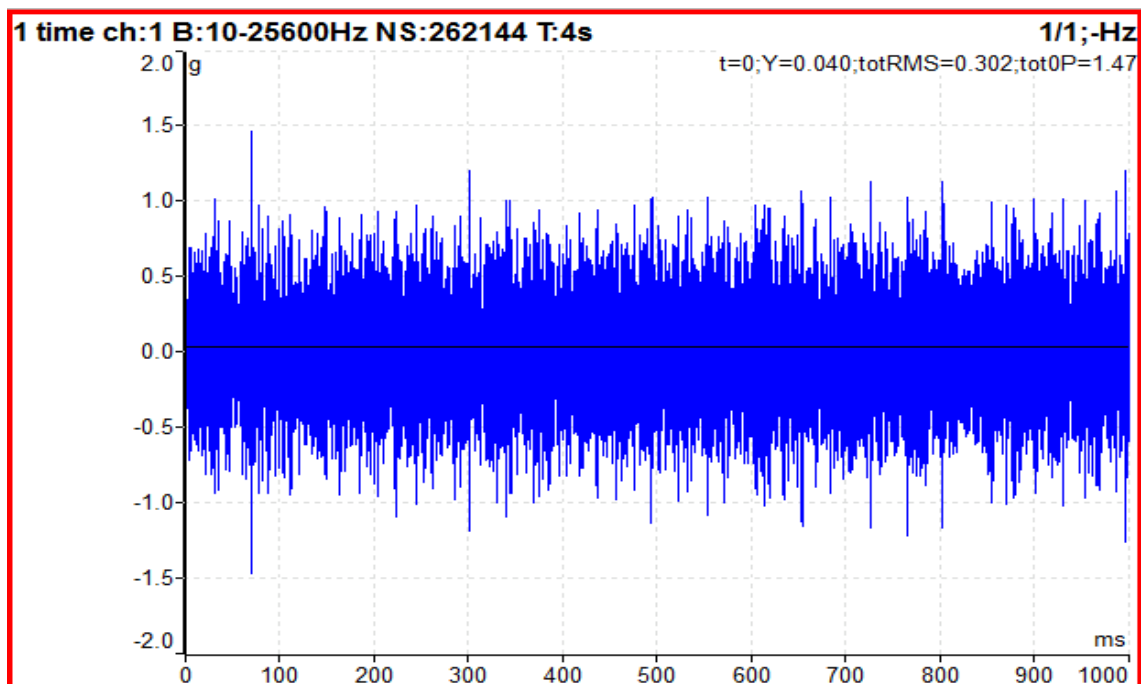
MV 0010-001828	a_{RMS} [g]	v_{RMS} [mm/s]
Vertikální směr	0,311	0,115
Horizontální směr	0,317	0,264
Axiální směr	0,298	0,152



Obr. 24 Vertikální směr – rychlost, stroj MV 0010-001828



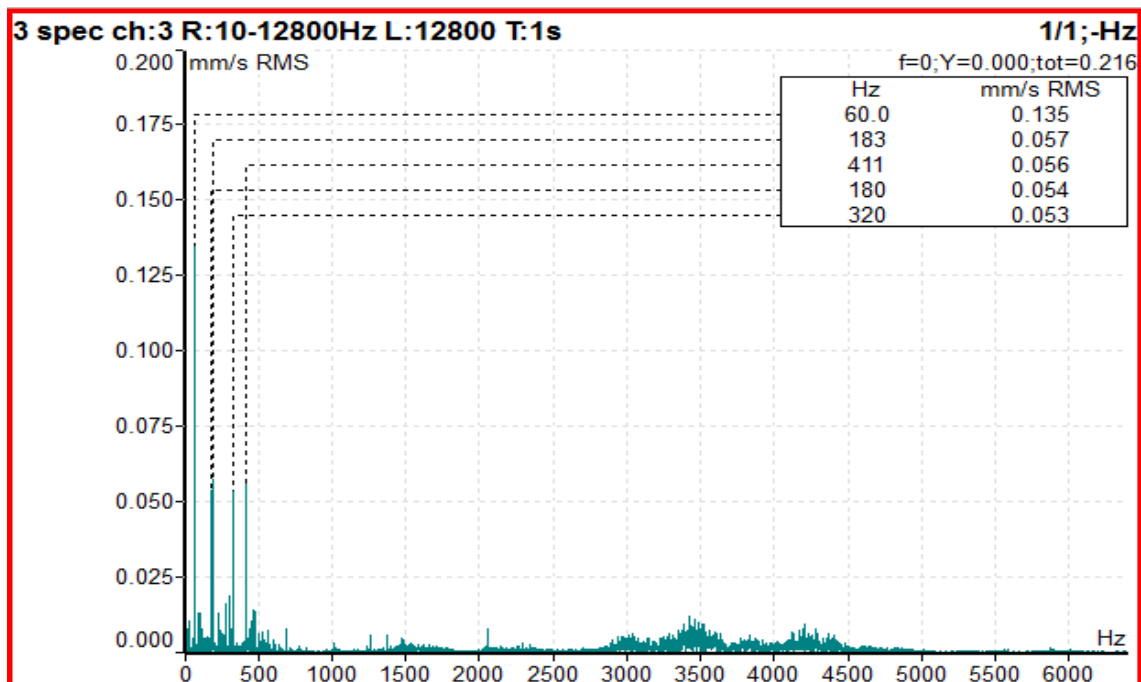
Obr. 25 Horizontální směr – zrychlení, stroj MV 0010-001828



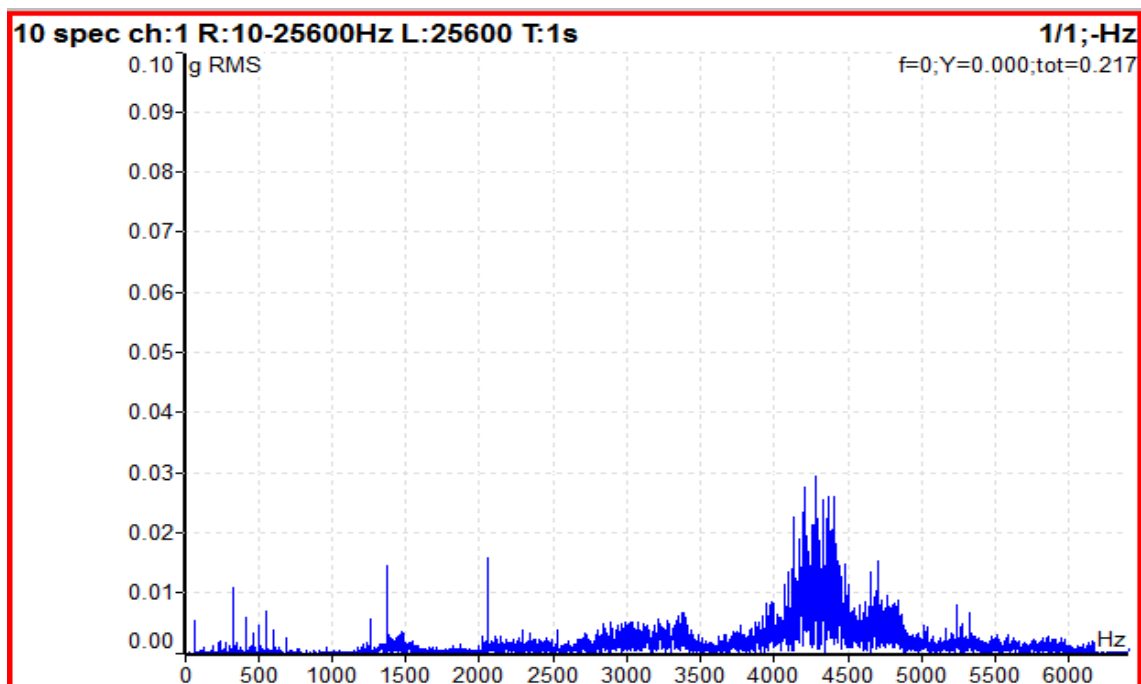
Obr. 26 Časový průběh vibrací, stroj MV 0010-001828

Stanoviště H2R - 1 výroba rámců pistolí

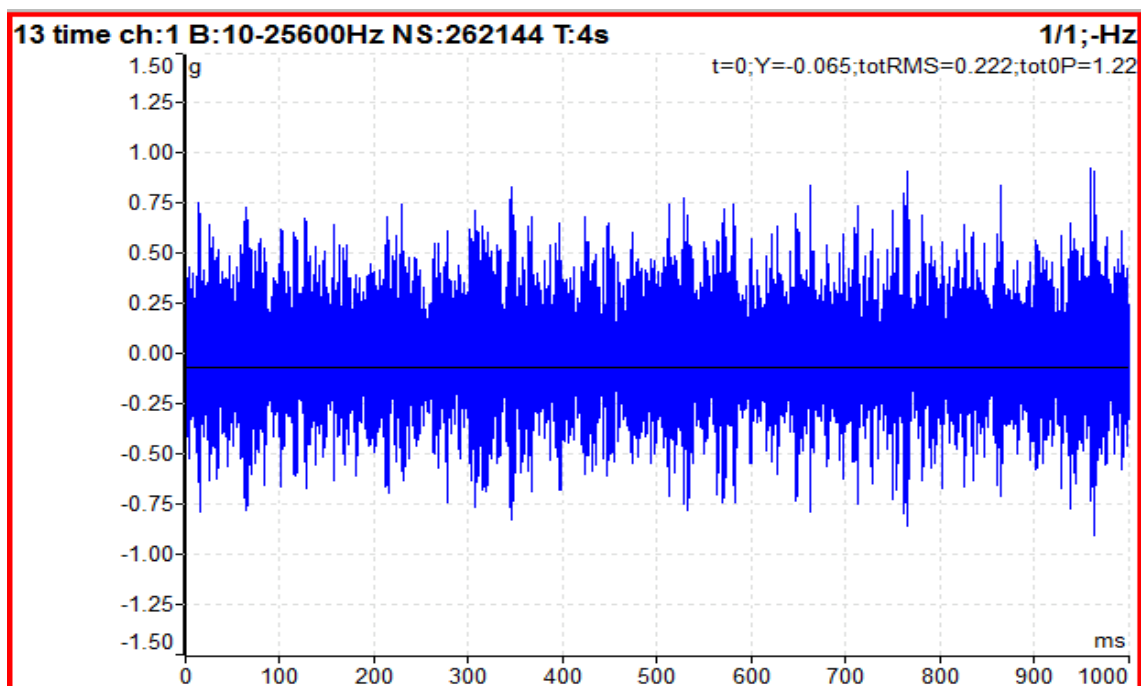
MV 0010-001864	a_{RMS} [g]	v_{RMS} [mm/s]
Vertikální směr	0,229	0,167
Horizontální směr	0,173	0,172
Axiální směr	0,256	0,196



Obr. 27 Axiální směr – rychlost, stroj MV 0010-001864



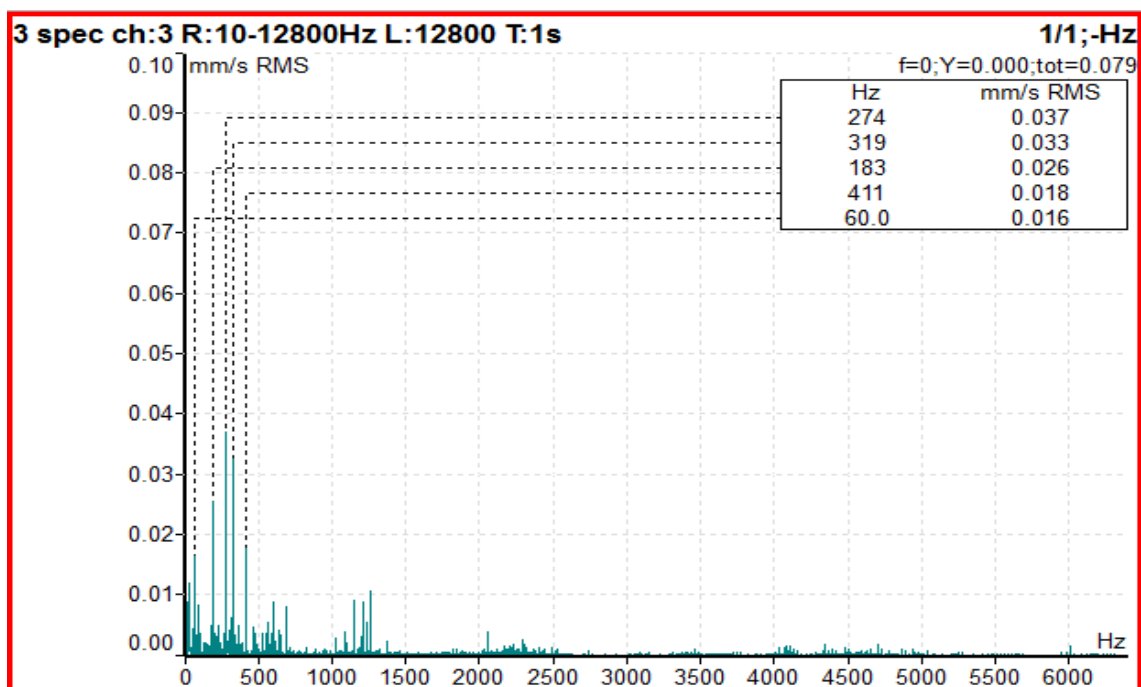
Obr. 28 Vertikální směr – zrychlení, stroj MV 0010-001864



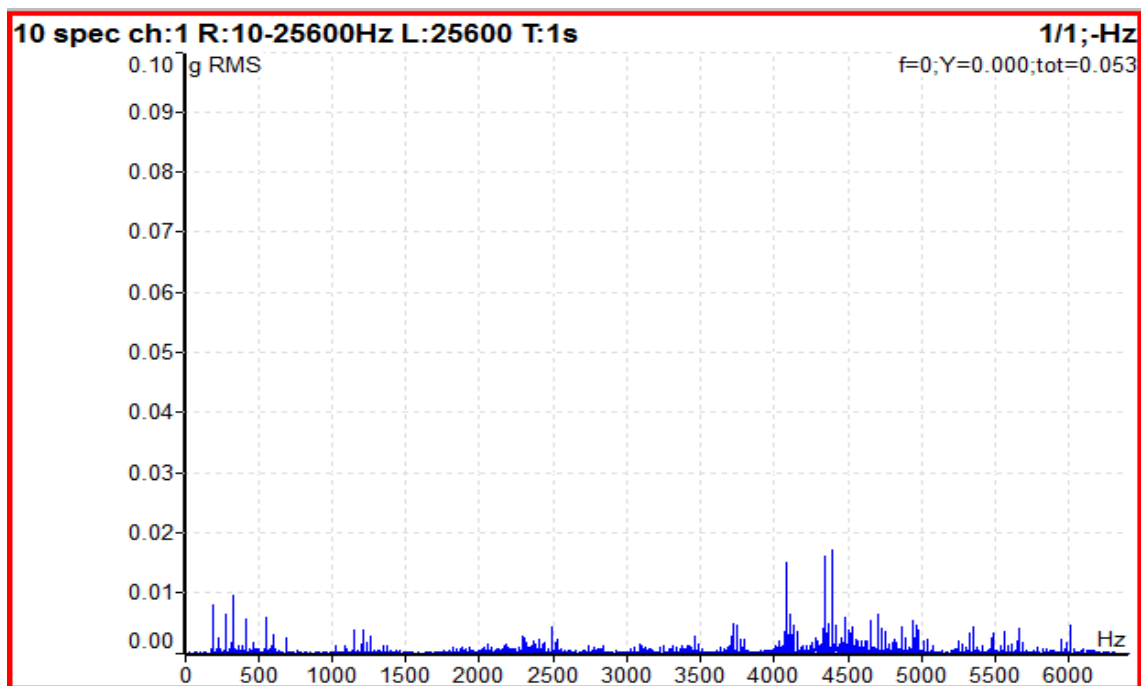
Obr. 29 Časový průběh vibrací, stroj MV 0010-001864

Stanoviště H2R - 3 výroba rámců pistolí

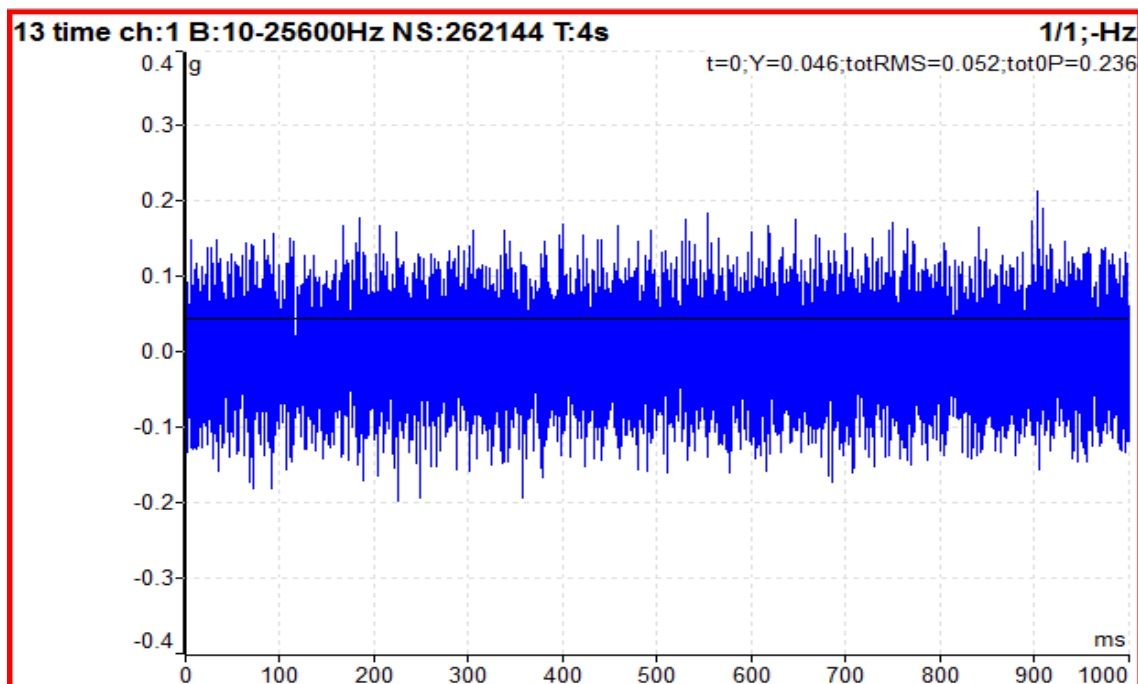
MV 0010-001877	a_{RMS} [g]	v_{RMS} [mm/s]
Vertikální směr	0,053	0,119
Horizontální směr	0,034	0,125
Axiální směr	0,033	0,078



Obr. 30 Axiální směr – rychlost, stroj MV 0010-001877



Obr. 31 Vertikální směr – zrychlení, stroj MV 0010-001877

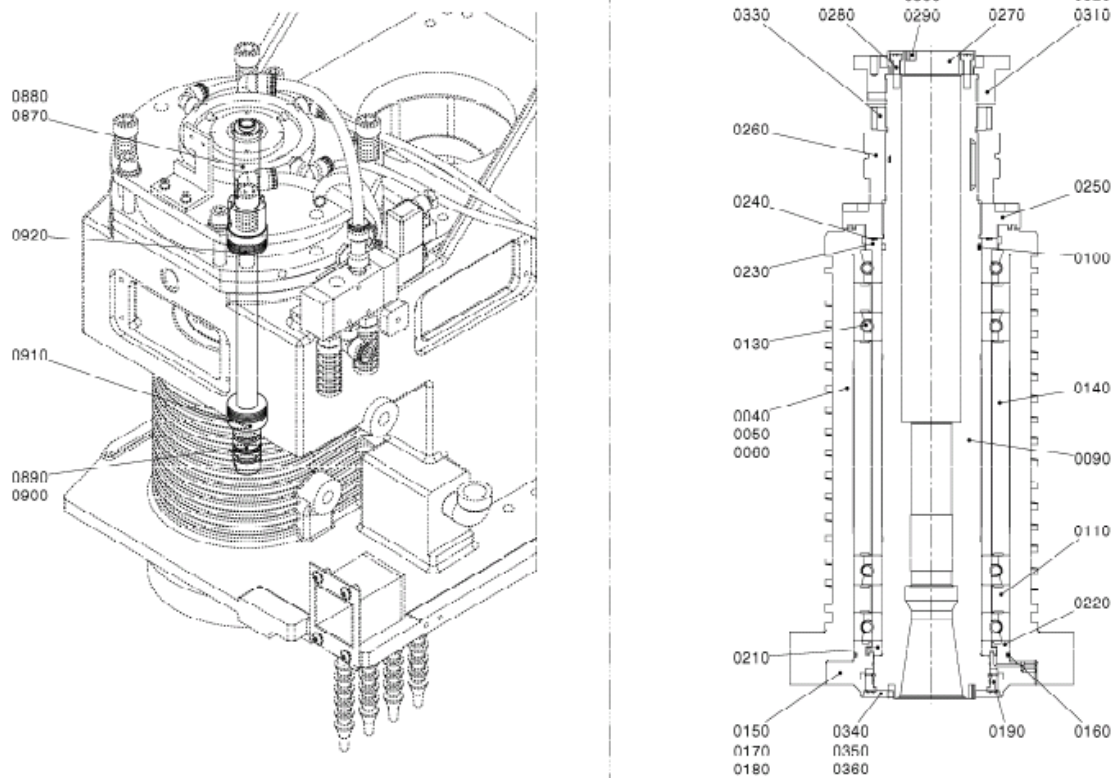


Obr. 32 Časový průběh vibrací, stroj MV 0010-001877

Ze všech naměřených hodnot strojů Doosan DNM 500 můžeme vidět, že vibrace na vřetenech ve všech směrech (vertikálním, horizontálním, axiálním) jsou velmi dobré. Potvrzují nám to i frekvenční grafy a časové průběhy. Lze tedy tyto stroje označit jako bezproblémové. Je to však dáno tím, že celá výrobní linka je úplně nová a její dosavadní provoz trvá pouze několik měsíců. Bezproblémový provozní stav strojů je velmi důležitý pro provoz a kvalitu výrobků. Proto doporučuji nadále sledovat hodnoty vibrací, provozní stav kapalin i přesnost výroby stroje. Pokud by sledované hodnoty přesáhly hodnoty hraniční, byla by nutná oprava. Stroje jsou stále v záruční době, proto by možné opravy provedl TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE s.r.o., provádějící servis strojů Doosan DNM 500.

Sledování vibrací navrhuji provádět v měsíčních intervalech, a pokud by došlo k výraznému zhoršení u některých strojů, doporučil bych provádět kontrolu častěji. Naměřené vibrace můžeme použít pro porovnání a k snadnějšímu vyhodnocení technického stavu vřeten do budoucna.

Servis TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE s.r.o., poskytl kompletní hodnoty vibrací na vřetenu stroje Doosan DNM 500, viz obr. 33.



Obr. 33 Hodnoty vibrací na vřetenu stroje Doosan DNM 500 [1]

5.6 Návrh nového systému měření

Pochůzkové měření je časově náročné, nákladné a v době, kdy se nám podaří naměřené hodnoty vyhodnotit a nashromáždit už nejsou aktuální a jsou zastaralé. Navrhují přejít na nový systém měření, kde je možné mnohem rychleji a snadněji získat přístup k okamžitě použitelným údajům. Použitím dálkového monitorování by byl provozovatel stále informován o aktuálním stavu stroje, aniž by musel být u daného měření přítomen. Instalace zařízení, které je schopné monitorovat technický stav stroje v reálném čase a odesílat aktuální informace na kontrolní stanoviště ušetří spoustu času, zabrání možné chybě, která může nastat při přepisování naměřených hodnot do počítače a umožní sledovat několik strojů najednou. Senzory pro monitorování aktuálního stavu strojů a zařízení můžou zvýšit provozní spolehlivost a díky nim můžeme pohotově reagovat na jakékoliv vznikající problémy.

6 ZÁVĚR

Hlavním tématem bakalářské práce byla komplexní prediktivní a proaktivní údržba strojů Doosan DNM 500 ve společnosti Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod. Tyto stroje vyrábějí části ručních palných zbraní, přesněji rámy a závěry pistolí. Charakteristickou vlastností těchto strojů je vysoká přesnost, proto je velmi důležité udržovat tyto numericky řízené obráběcí stroje ve špičkovém provozním stavu.

V úvodní kapitole je obecně popsána teorie systémů údržby, strategie údržby v podniku, kde je vysvětlena prediktivní a proaktivní údržba a údržba strojů po poruše. Následně je vysvětleno řízení údržby, metody plánování údržby i plánování odstávek a závěr kapitoly se zabývá zlepšováním údržby v podniku. Další kapitola teoretické části obsahuje stručný popis společnosti Česká zbrojovka, a.s. Uherský Brod. Dále je popsána technická diagnostika a její metody, které by se mohly používat pro kontrolu technického stavu strojů Doosan DNM 500. Patří mezi ně vibrační diagnostika, která je zde popisována nejvíce, termodiagnostika i tribodiagnostika, která sleduje stav maziv a podle toho dokáže určit i samotný stav stroje.

Praktická část se zabývá vibracemi, které byly naměřeny na vřetenech CNC strojů Doosan DNM 500 při návštěvě podniku a jsou následně vyhodnoceny. Výsledné vibrace byly podle očekávání velmi dobré, protože se jedná o zcela novou výrobní linku.

Přínosem výše zmíněných diagnostických metod by mohlo být zvýšení životnosti a zlepšení provozuschopnosti strojů nejen na této nové výrobní lince.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Podklady společnosti Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod
- [2] LEGÁT, V. a kol. *Management a inženýrství údržby*. Professional Publishing 2013, První vydání, 570 s., ISBN 978-80-7431-119-2
- [3] HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. Vydání, 130s., ISBN 978-80-248-1690-6
- [4] KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. Vydání, 408 s., ISBN 80-7300-157-6
- [5] KREIDL, M. a kol. *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
- [6] ŘÍZENÍ & ÚDRŽBA průmyslového podniku. [online]. c2008 [cit. 2014-05-] Dostupné z:
<<http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artikul/article/diagnosticke-metody-zaklad-preventivni-udrzby-podle-technickeho-stavu/>>
- [7] ZUTH, Daniel a František VDOLEČEK. Měření vibrací ve vibrodiagnostice [online]. c2010 [cit. 2014-05-14] Dostupné z:
<<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>>
- [8] BOZP Info.cz [online]. c2002 [cit. 2014-05-14] dostupné z:
<http://www.bozpinfo.cz/win/josra/josra-04-2011/prediktivni_udrzba_krupa.html>
- [9] A4400-VA4Pro [online]. [cit. 2014-05-14] Dostupné z:
<http://www.adash.cz/condition-monitoring/product_a4400_cz.php>
- [10] ČESKÁ ZBROJOVKA a.s. UHERSKÝ BROD [online]. c2009 [2014-05-14] Dostupné z: < <http://www.czub.cz/cz/pages/115-profil.aspx> >

- [11] DIRECT INDUSRY, Catalogues Koyo [online] c2014 [2014-05-14] Dostupné z:
<<http://pdf.directindustry.com/pdf/jtekt-europe-bearings/precision-ball-roller-bearings-machine-tools/19004-265037.html>>